



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Escuela de Ingeniería en Alimentos**

**Modelos factoriales y métodos multicriterio para la  
optimización de las condiciones de germinación de quinua  
para consumo**

**Trabajo de grado previo a la obtención del título de:**

**Ingeniero en Alimentos**

**Autor:**

**Belén Estefanía Vásquez Remache**

**Director:**

**Dr. Diego Patricio Suárez Estrella**

**CUENCA, ECUADOR**

**2022**

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de graduación a mi padre Ángel y a mi madre Elena, por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, por ser mi fuerza y motivación para alcanzar esta meta. A mi abuelita Aurora, a mis hermanos David y Alex y a mi hermana Gabriela, por ser un ejemplo de esfuerzo y lucha y sobre todo por su apoyo incondicional y estar presentes en cada paso que he dado.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar agradezco a Dios por haberme dado salud, fuerza y sabiduría para culminar mis estudios. A mi familia por apoyarme y aconsejarme en cada paso que he dado en toda mi etapa académica y a lo largo de mi vida.

Mi profundo agradecimiento al Ingeniero Diego Suárez, por guiarme y apoyarme en el desarrollo de este trabajo de graduación, y por compartirme sus conocimientos y experiencias, impulsándome a mejorar cada día como profesional y como ser humano.

De igual manera mis agradecimientos al Ingeniero Cristian Rojas y a la Ingeniera María Alicia Peña por su contribución en este trabajo.

También agradezco a la Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Alimentos y a mis profesores por compartir conmigo sus conocimientos tanto en mi preparación académica como personal.

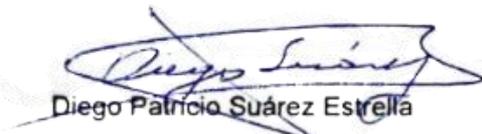
Finalmente, quiero agradecer a mis amigos y amigas con quienes compartimos grandes experiencias e inolvidables anécdotas, especialmente a Carolina, Belén, Andrés, Juan y a Carlos que fue un compañero y soporte muy especial en mi etapa universitaria.

**Modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización de las condiciones de germinación de quinua para consumo**

**RESUMEN**

Esta investigación determinó las condiciones óptimas de germinación de semillas de quinua (var. tunkahuan), para consumo directo y elaboración de pan, considerando: aceptabilidad del consumidor y porcentaje de semillas germinadas, aplicando herramientas experimentales. La germinación óptima para consumo directo está entre 24 y 37.2 h a temperaturas entre 23.2 y 24.4 °C. Aunque la mayor aceptabilidad del pan se presenta con una sustitución del 10%, el diseño de superficie demostró que las condiciones óptimas corresponden a una sustitución del 30% con semillas germinadas a 19 °C. Las condiciones óptimas de germinación de las semillas dependen del uso previsto.

**Palabras clave:** quinua, germinación, diseño experimental, panificación, evaluación sensorial.



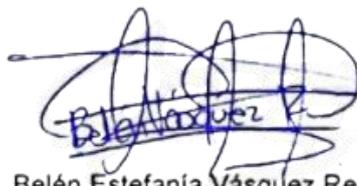
Diego Patricio Suárez Estrella

Director de tesis



María Fernanda Rosales Medina

Coordinadora de escuela



Belén Estefanía Vásquez Remache

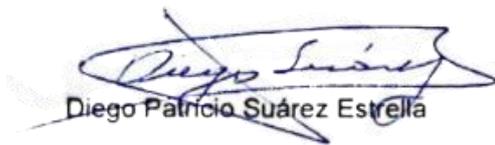
Autor

**Factorial models and multi-criteria methods for the optimization of the sprouting conditions of quinoa for consumption**

**ABSTRACT**

This research determined the optimal conditions for germination of quinoa seeds (var. tunkahuan), for direct consumption and bread making, considering consumer acceptability and percentage of germinated seeds, applying experimental tools. The optimal germination for direct consumption is between 24 and 37.2 hours at temperatures between 23.2 and 24.4 °C. Although the greater acceptability of bread is present with a substitution of 10%, the surface design showed that the optimal conditions correspond to a 30% replacement with germinated seeds at 19 °C. The optimal germination conditions of the seeds depend on the intended use.

**Keywords:** quinoa, sprouting, experimental design, baking, sensory evaluation.



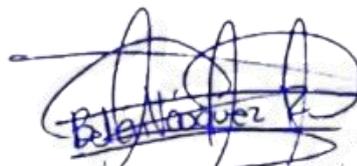
Diego Patricio Suárez Estrella

**Thesis Director  
Coordinator**



María Fernanda Rosales Medina

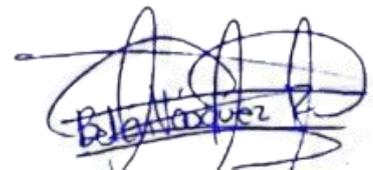
**Food Engineering Faculty**



Belén Estefanía Vásquez Remache

**Author**

**Translated by**



**Belén Vásquez**



## INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
CAPITULO 1 .....	10
INTRODUCCIÓN .....	10
1.1 Aspectos generales de la quinua .....	10
1.2 Características físicas, químicas y nutricionales .....	11
1.3 Uso de la quinua en el campo alimentario .....	18
1.4 Germinación de la quinua .....	22
CAPÍTULO 2 .....	24
MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
2.1. Materiales.....	24
2.2 Métodos.....	28
CAPÍTULO 3 .....	37
RESULTADOS.....	37
3.1 Proceso de germinación de las semillas de quinua.....	37
3.2 Porcentaje de germinación de las semillas de quinua.....	37
3.3 Análisis físicoquímicos y sensoriales de las semillas germinadas .....	38
3.4 Aplicación de modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización de las condiciones de germinación .....	43
3.5 Aplicación de modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización de pan enriquecido con harina germinada.....	45
3.6 Análisis físicoquímicos y sensoriales del pan enriquecido con harina de quinua germinada .....	53
CAPÍTULO 4 .....	57
DISCUSIÓN .....	57
CONCLUSIONES .....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	63
ANEXOS .....	67

Anexo 1: .....	67
Anexo 2: .....	68
Anexo 3: .....	69
Anexo 4: .....	70
Anexo 5: .....	71
Anexo 6: .....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición química proximal de la semilla de quinua y algunos cereales (g/100 g de grano).....	13
<b>Tabla 2.</b> Contenido de aminoácidos esenciales en quinua y algunos cereales (mg/g de proteína).....	14
<b>Tabla 3.</b> Contenido de vitaminas (mg/100 g sólidos secos) en semillas de quinua, trigo, arroz y cebada.....	15
<b>Tabla 4.</b> Composición mineral (mg/kg ss) en quinua y algunos cereales.....	16
<b>Tabla 5.</b> Condiciones para el diseño experimental de la germinación de las semillas de quinua .....	25
<b>Tabla 6.</b> Matriz del diseño central compuesto con 4 réplicas centrales para optimizar las condiciones de germinación de las semillas de quinua.....	26
<b>Tabla 7.</b> Condiciones del diseño experimental factorial para la optimización del pan.....	33
<b>Tabla 8.</b> Matriz del diseño factorial de dos niveles y tres factores, con cuatro réplicas al punto central para el pan con quinua.....	33
<b>Tabla 9.</b> Matriz del diseño de superficie para dos niveles y dos factores, con 4 réplicas centrales para el pan de quinua.....	34
<b>Tabla 10.</b> Ponderación de cada atributo sensorial para la optimización de las condiciones de germinación.....	35
<b>Tabla 11.</b> Ponderación de cada atributo sensorial para la optimización del pan.....	36
<b>Tabla 12.</b> Porcentaje de germinación de las semillas de quinua .....	37
<b>Tabla 13.</b> Contenido de saponinas en las muestras germinadas .....	38
<b>Tabla 14.</b> Matriz de las medianas calculadas a partir de las evaluaciones sensoriales de semillas germinadas de quinua .....	42
<b>Tabla 15.</b> Sumatoria del puntaje obtenido por las semillas germinadas y su porcentaje equivalente.....	43
<b>Tabla 16.</b> Matriz de respuestas del diseño multinivel para la optimización de las condiciones de germinación de semillas para consumo directo.....	44
<b>Tabla 17.</b> Matriz del modelo de regresión para el diseño factorial multinivel.....	44
<b>Tabla 18.</b> Matriz de las medianas de las respuestas sensoriales del pan elaborado con harina de quinua germinada .....	46

<b>Tabla 19.</b> Respuestas del diseño factorial completo para la optimización del pan .....	47
<b>Tabla 20.</b> Matriz del modelo de regresión para el diseño factorial completo .....	47
<b>Tabla 21.</b> Matriz de las medianas de las respuestas del análisis sensorial del pan con harina de quinua germinada para el diseño de superficie con los nuevos puntos experimentales.....	50
<b>Tabla 22.</b> Matriz de las respuestas del diseño de superficie para la optimización del pan .....	51
<b>Tabla 23.</b> Matriz del modelo de regresión para el diseño de superficie de respuesta .....	51
<b>Tabla 24.</b> Volumen específico de los panes .....	53
<b>Tabla 25.</b> Puntuación del pan con harina de quinua germinada bajo las especificaciones del diseño factorial.....	55
<b>Tabla 26.</b> Puntaje del pan con harina de quinua germinada bajo las especificaciones del diseño de superficie.....	56

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Representación física lateral de las formas de la semilla de quinua .....	12
<b>Figura 2.</b> Método tradicional de eliminación de saponina en quinua por lavado .....	19
<b>Figura 3.</b> Máquina despedradora, lavadora, enjuagadora y centrifugadora .....	20
<b>Figura 4.</b> Métodos de secado de grano: a) natural y b) mecanizado .....	20
<b>Figura 5.</b> Proceso de escarificación manual de la quinua .....	21
<b>Figura 6.</b> Germinador y adaptación del mismo. ....	24
<b>Figura 7.</b> Diseño factorial multinivel de superficie de respuesta .....	25
<b>Figura 8.</b> Germinación de las semillas de quinua .....	27
<b>Figura 9.</b> Almacenamiento y conservación de las semillas de quinua .....	28
<b>Figura 10.</b> Proceso de escaneado de semillas y ejemplo de imagen obtenida .....	28
<b>Figura 11.</b> Determinación de humedad en la termobalanza .....	29
<b>Figura 12.</b> Cocción de las semillas de quinua germinadas.....	30
<b>Figura 13.</b> Molino empleado en la molienda de semillas de quinua y fuente de agua fría de recirculación .....	31
<b>Figura 14.</b> Diseño factorial 2 <sup>3</sup> y su representación geométrica .....	32
<b>Figura 15.</b> Imágenes de las semillas germinadas a las diferentes condiciones experimentales .....	38
<b>Figura 16.</b> Espuma formada durante la determinación del contenido de saponinas.....	40
<b>Figura 17.</b> Cocción de las semillas germinadas de quinua.....	41
<b>Figura 18.</b> Semillas de quinua germinadas, cocidas y coladas .....	41
<b>Figura 19.</b> Gráfico de contorno para la optimización de las condiciones de germinación de las semillas de quinua con fines de consumo directo.....	45
<b>Figura 20.</b> Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados de las variables estudiadas y sus interacciones.....	48
<b>Figura 21.</b> Superficie de respuesta del pan elaborado con harina de quinua germinada.....	52
<b>Figura 22.</b> Panes obtenidos bajo las condiciones experimentales .....	54

## **CAPITULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

#### 1.1 Aspectos generales de la quinua

La quinua o quínoa, cuyo nombre científico es "*Chenopodium quinoa* Willd.", pertenece a la familia *Amaranthaceae* y es nativa de Sudamérica (Padrón et al 2015). Se encuentra principalmente en los Andes de Bolivia y Perú, quienes son sus mayores productores con el 92% de la producción mundial, seguido de Estados Unidos, Ecuador, Argentina y Canadá con un total del 8% de la producción (FAO 2020).

Actualmente, la quinua se encuentra en un proceso de expansión a nivel mundial, puesto que se ha comprobado que posee un gran potencial para el mejoramiento de las condiciones de vida de la población. Es ampliamente cultivada en países de la región Andina como Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile. Además, por su gran versatilidad, la quinua puede adaptarse a diferentes pisos ecológicos, razón por la cual ha sido introducida y aclimatada en diferentes continentes con éxito, por ejemplo, Europa, África y Asia (Olarte-Calsina et al 2016).

Por otro lado, la quinua por su extraordinaria calidad nutricional es considerada como un alimento con un elevado potencial en la lucha contra el hambre y la desnutrición, además por su fácil adaptabilidad a diferentes ambientes. Es por estas razones que el gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia propuso al año 2013 como "El Año Internacional de la Quinua" con el apoyo de Argentina, Azerbaiyán, Ecuador, Georgia, Honduras, Nicaragua, Paraguay, Perú, Uruguay, además de contar con el respaldo de la FAO, moción que fue aprobada por la Asamblea de las Naciones Unidas (Muñoz 2013).

La quinua puede darse a nivel del mar, e incluso sobre los 3000 metros de altitud. No requiere de terrenos especiales para su crecimiento y suele desarrollarse inclusive en terrenos abandonados (Pajarito 2005). Las temperaturas óptimas para su desarrollo y crecimiento se encuentran entre los 15°C y 25°C; pero son muy tolerantes, tanto a heladas como a temperaturas altas durante su desarrollo (Gómez y Aguilar 2016). También resiste muy bien a elevadas condiciones de humedad relativa (40% - 100%) y sequía, donde la disponibilidad de agua está entre los 50 mm hasta los 2000 mm por año de precipitación; tolera también la salinidad del suelo y un amplio rango de pH (desde 6.3 a 7.3) (Suárez-Estrella et al 2019, Pinto 2013).

Antiguamente la quinua se consideraba como un alimento destinado al autoconsumo de campesinos y pequeños productores de los países andinos que mantuvieron su cultivo como parte de sus estrategias productivas y de supervivencia (Jancurová et al 2009). Por otra parte, la quinua también era utilizada como medicina tradicional por los indígenas para calmar sus dolencias, así por ejemplo, se empleaba para curar los abscesos en el hígado, afecciones catarrales y de las vías urinarias (Pajarito 2005).

También cabe mencionar que el grano posee un alto contenido de saponina por lo que se han adoptado diversas formas casi rudimentarias para la eliminación de esta sustancia que le confiere gusto amargo, dificultando su consumo. Hoy en día, gracias a la industrialización y comercio masivo de este producto se han reemplazado los métodos tradicionales por métodos mecánicos los cuales eliminan la saponina y otras impurezas (Nieto y Valdivia 2014).

La quinua es consumida como grano, ya sea cocido (sopas, guisos, ensaladas), tostado, o tostado y molido; además la harina que se adquiere de ella se utiliza para la elaboración de pan, galletas y bebidas.

Por otro lado, el mayor consumidor per cápita es Bolivia con un consumo de 5.2 kilos, seguido por Perú con 1.8 kilos y Ecuador con 332 gramos al año. Entre los países no productores, el mayor consumidor de quinua per cápita es Canadá con más de 180 gramos, seguido por Holanda, Francia y Australia que consumen entre los 120 y 140 gramos (Teomiro 2018).

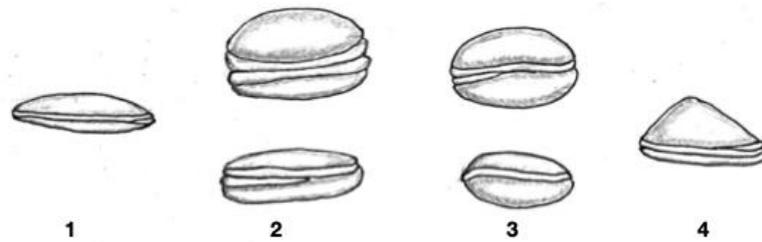
## 1.2 Características físicas, químicas y nutricionales

### 1.2.1 Características físicas

Características como la forma, tamaño, densidad, volumen y porosidad, son algunos de los parámetros importantes para determinar la calidad de los granos (Arapa y Padrón 2014). El grano de quinua puede presentarse en diferentes formas geométricas, las cuales son: 1) lenticular, 2) cilíndrica, 3) elipsoidal y 4) cónica (Figura 1), puede alcanzar un diámetro de 1.5 a 3 mm (Gómez y Aguilar 2016).

En cuanto a su estructura, este fruto está formado por el pericarpio y la semilla. La semilla presenta 3 partes que son: 1. el epispermo (capa que cubre la semilla), 2. el embrión que está conformado por dos cotiledones y radícula, los cuales le dan la pigmentación castaño oscuro a la semilla (el embrión constituye aproximadamente el 30% del peso total de la semilla) y 3. perisperma (principal tejido de almacenamiento) que constituye el 60% de la semilla (Tapia et al 1979).

**Figura 1.** Representación física lateral de las formas de la semilla de quinua



Fuente: Bioversity International, FAO, PROINPA, INIAF Y FIDA. *Descriptor para Quinua y sus parientes silvestres*. Imagen digital. (2013).

El perigonio sepaloide es la envoltura que rodea al fruto, el cual se desprende fácilmente al alcanzar la madurez; sin embargo, en algunos casos puede quedar adherido al grano aún después de la trilla, dificultando la cosecha y el procesamiento de los granos y, por ende, su industrialización (Gómez y Aguilar 2016).

#### 1.2.2 Características químicas y nutricionales

Por su carácter de semilla amilácea y que botánicamente se encuentra en la clase Dicotyledoneae, la quinua se considera un pseudocereal o pseudograno y no un cereal (Padrón et al 2015), los cuales son monocotiledones; sin embargo, se asemeja a ellos por su alto contenido de carbohidratos, principalmente almidón, que hace que sea empleado como un cereal; no obstante, su mayor contenido de proteína y grasa en comparación con ellos (Tapia et al 1979).

Los beneficios atribuidos al consumo de quinua se deben a su elevado valor nutricional. Es importante incluir proteínas de alta calidad en la dieta humana, principalmente para aquellas poblaciones o grupos que no consumen proteína de origen animal, y que deben obtener proteínas de cereales, leguminosas y otros granos. El grano, las hojas y las inflorescencias de la quinua se caracterizan por ser fuente de proteínas de alta calidad, siendo ricas en lisina y en aminoácidos azufrados, mientras que las proteínas de cereales son deficientes en los mismos. Sin embargo, de acuerdo a algunos estudios, la biodisponibilidad de los aminoácidos de la proteína en la harina y en los granos sin lavar disminuye en nuestro organismo, puesto que las saponinas contenidas impiden la utilización biológica de los nutrientes (PROINPA 2011).

##### 1.2.2.1 Proteínas

El contenido de proteínas que posee la quinua está entre el 12 y 23%, siendo de muy buena calidad (Toapanta 2016) y su valor biológico es similar al de la caseína, su digestibilidad es cercana al 80%, donde se asigna el valor de 100% a las proteínas de la leche y carne (PROINPA 2011). Si la comparamos con los cereales, el contenido de proteína total es de aproximadamente 15%, siendo mayor que la cebada (9.91%), arroz (7.7%) o el maíz (10.73%), y puede ser comparable con las

proteínas del trigo que tiene alrededor de 14.3% (Tabla 1), sin embargo, en comparación con legumbres como la soja (36.1%), altramuces (39.1%) y frijoles (28.0%) el contenido proteico de la quinua es bajo (Jancurová et al 2009).

**Tabla 1.** Composición química proximal de la semilla de quinua y algunos cereales (g/100 g de grano).

<b>Proximales</b>	<b>Quinua</b>	<b>Trigo integral</b>	<b>Arroz</b>	<b>Maíz</b>	<b>Cebada</b>	<b>Avena</b>
<b>Humedad</b>	13.3	10.9	11.6	10.4	10.1	8.2
<b>Proteínas</b>	15.0	14.3	7.7	10.4	9.9	16.9
<b>Grasa</b>	9.7	2.5	0.3	4.7	1.2	6.9
<b>Carbohidratos</b>	64.2	71.1	79.9	74.3	77.7	66.3
<b>Cenizas</b>	2.4	1.8	0.6	1.2	1.1	1.7

Fuentes: (Ruales y Nair 1992, Padrón et al 2015).

Entre los aminoácidos limitantes presentes en las proteínas de la quinua, están la fenilalanina, valina, isoleucina y la treonina (Tabla 2); sin embargo, al comparar el contenido de estos aminoácidos en la quinua respecto al de los cereales no se observan mayores diferencias, es más, en algunos casos, como el de la lisina su contenido se duplica en comparación con el trigo y es superior a los otros cereales. Además, el contenido de metionina, tirosina y lisina, es alto en las proteínas de la quinua en comparación con otras proteínas de origen vegetal (Ruales y Nair 1992).

En las semillas de quinua, las albúminas y globulinas son las fracciones mayores de proteína (44 a 77%), siendo las globulinas las más abundantes (37% de las proteínas totales) (Abugoch 2009) mientras que la fracción de prolaminas alcanza valores entre 0.5 y 7.0% del total de proteína. Este bajo porcentaje de prolaminas indica que la quinua puede ser baja en gluten (Padrón et al 2015), lo cual dificulta su uso en panificación, pero puede ser conveniente para consumidores intolerantes o alérgicos a dicha proteína. Estudios realizados indican que las pocas variedades de quinua, en las que son cuantificables los epítomos alérgicos, su cantidad es inferior al máximo permitido para considerarse como un alimento libre de gluten (20 ppm, según la FDA) (Zevallos 2012).

**Tabla 2.** Contenido de aminoácidos esenciales en quinua y algunos cereales (mg/g de proteína).

Aminoácido	Quinua	Trigo	Arroz	Maíz	Cebada	Avena
<b>Fenilalanina</b>	42.0	49.8	53.4	49.2	56.1	53.0
<b>Histidina</b>	28.8	23.5	23.6	30.5	22.5	24.0
<b>Isoleucina</b>	35.7	39.0	43.2	35.8	36.5	41.1
<b>Leucina</b>	122.6	68.3	82.6	59.5	67.9	76.0
<b>Lisina</b>	54.2	22.1	36.2	28.1	37.2	41.5
<b>Metionina</b>	21.9	16.2	23.6	20.9	19.2	18.5
<b>Treonina</b>	29.8	26.8	35.8	37.6	34.0	34.0
<b>Triptófano</b>	11.8	12.9	11.6	7.1	16.6	13.9
<b>Valina</b>	42.1	43.4	61.0	50.6	49.0	55.5
<b>Tirosina</b>	41.0	16.0	N.D.	14.0	17.0	16.0

Fuentes: (Padrón et al 2015, Tapia et al 1976). N.D.: no declarado

#### 1.2.2.2 Carbohidratos

Los carbohidratos son uno de los principales constituyentes de la quinua, representando entre un 67 y 74% de su peso seco (Jancurová et al 2009). Contiene varios tipos de carbohidratos como el almidón que está localizado en el perispermo y ocupa entre un 52 y 69.2% del peso seco del grano (Crocí et al 2017), el cual se puede presentar como unidades simples o como agregados esféricos (Jancurová et al 2009).

La temperatura de gelatinización del almidón está entre los 57 y 71 °C, su forma es poligonal de 2 µm de diámetro (Zambrano et al 2019). El almidón aporta con varias propiedades funcionales para el procesamiento de alimentos; así puede ser utilizado como gelificante, espesante, estabilizador coloidal, entre otras (Hevia 2001).

La fibra total también está formada por carbohidratos, representa entre el 7 y 9.7% del grano seco, se divide en fibra soluble (1.3 - 6.1%) e insoluble (6.8 - 8.4%) (Crocí et al 2017). Su alto contenido de fibra convierte a la quinua en un alimento que favorece el tránsito intestinal, regula los niveles de colesterol, estimula el desarrollo de flora bacteriana beneficiosa y ayuda a prevenir el cáncer de colon, por lo tanto, la quinua actúa como un depurador del cuerpo (PROINPA 2011). Otros carbohidratos presentes en la quinua son los azúcares libres que representan alrededor del 6.2% del peso seco (Romo et al 2006).

### 1.2.2.3 Lípidos

El contenido de lípidos en la quinua varía entre 1.8 y 9.5%, con un promedio entre 5.0 y 7.2%, su contenido tiende a ser más elevado que el del maíz (3.0 - 4.0%) (Hernández-Ledesma 2019) La quinua es una rica fuente de ácidos grasos esenciales tales como el ácido linolénico (52%) y linoleico (40%) (Jancurová et al 2009).

Los lípidos de la quinua están contenidos principalmente en el embrión y en el perispermo (Crocí et al 2017). Todos los ácidos grasos presentes en la quinua están protegidos por la presencia de vitamina E, que actúa como un antioxidante natural (Zambrano et al 2019).

### 1.2.2.4 Vitaminas

El contenido de vitaminas que tiene la quinua es elevado, es mayor al trigo, arroz y cebada en riboflavina (B2),  $\alpha$ -tocoferol y  $\beta$ -caroteno (Tabla 3). Sin embargo, la quinua posee valores inferiores del resto de vitaminas en comparación con los cereales, en sustancia seca (ss).

**Tabla 3.** Contenido de vitaminas (mg/100 g ss) en semillas de quinua, trigo, arroz y cebada.

Vitaminas	Quinua	Trigo	Arroz	Cebada
<b>Tiamina (B1)</b>	0.38	0.55	0.47	0.49
<b>Riboflavina (B2)</b>	0.39	0.16	0.10	0.20
<b>Niacina (B3)</b>	1.06	5.88	5.98	5.44
<b>Ácido ascórbico (C)</b>	4.00	0.00	0.00	0.00
<b><math>\alpha</math>-tocoferol</b>	5.37	1.15	0.18	0.35
<b><math>\beta</math>-caroteno</b>	0.39	0.002	N.D	0.01

Fuente: (Jancurová et al 2009). N.D.: no declarado

### 1.2.2.5 Minerales

La quinua es una buena fuente de minerales, contiene calcio, magnesio, hierro y zinc, su contenido es más alto en comparación con el trigo, maíz, arroz, cebada y avena (PROINPA 2011). En la Tabla 4 se muestra la composición mineral de la quinua comparada con algunos cereales.

**Tabla 4.** Composición mineral (mg/kg ss) en quinua y algunos cereales.

Minerales	Quinua	Trigo	Arroz	Cebada	Maíz	Avena
<b>Magnesio</b>	2496	1694	735	1291	1270	1290
<b>Calcio</b>	1487	500	276	330	70	796
<b>Potasio</b>	9267	5783	1183	5028	2870	3550
<b>Hierro</b>	132	38	7	32	27	58
<b>Cobre</b>	51	7	2	3	3	45
<b>Zinc</b>	44	47	6	35	22	4

Fuentes: (Jancurová et al 2009, Romo et al 2016, Sánchez 2014, Gómez et al 2017).

En el pulido y lavado de la quinua se reduce el contenido de minerales, así la concentración de hierro, zinc y potasio disminuye entre un 12 y 15%, además se pierde alrededor del 27% de cobre y 3% de magnesio (Jancurová et al 2009).

#### 1.2.2.6 Polifenoles

Los polifenoles en la quinua se encuentran en pequeñas cantidades (0.53 g/100 g en las semillas de quinua enteras), sin embargo, su cantidad se reduce después de un proceso de lavado (0.23 g/100 g) (Valencia-Chamorro 2003). Los polifenoles pueden estar relacionados a la fracción de fibra insoluble como los compuestos de un mayor grado de polimerización: taninos condensados y taninos hidrolizables. Por otro lado, los polifenoles asociados a la fracción de fibra soluble son de menor peso molecular, como algunos flavonoides, ácidos fenólicos, dímeros y trímeros de proantocianidina. Debido a esto la quinua es conocida como un extensor en formulaciones cárnicas con un alto valor dietético y farmacéutico, atribuyendo a su uso y consumo la reducción de enfermedades cardiovasculares y digestivas (Zambrano et al 2019).

#### 1.2.2.7 Saponinas

Las saponinas son metabolitos secundarios que se encuentran distribuidos en el reino vegetal y se localizan principalmente en las semillas, hojas, raíces, frutos y tallos. Se producen con el objetivo de proteger a las plantas contra microorganismos, aves e insectos dañinos gracias a su gusto amargo (Hernández-Ledesma 2019). La saponina es ampliamente estudiada por sus reconocidas propiedades biológicas como fungicida, capacidad antitumoral, su actividad hemolítica y antiinflamatoria (Ahumada 2016).

Las saponinas de la quinua están formadas por una aglicona triterpenoide (sapogenina) y por uno o más azúcares unidos a dicha estructura, que se conocen como "fracción glicosídica". Las saponinas se clasifican según el número de glúcidos unidos a la sapogenina en mono-, di- y tri-desmosídicas (Hernández-Ledesma 2019). Las cadenas de sacáridos de las saponinas aseguran altas propiedades hidrofílicas, mientras que las sapogeninas presentan rasgos lipofílicos. Por lo tanto, las propiedades anfílicas de las saponinas aseguran una alta solubilidad tanto en solventes polares como en disolventes no polares (Suárez-Estrella et al 2018).

La capa exterior de la semilla de quinua (cáscara) es rica en saponinas (Hernández-Ledesma 2019) y el contenido de las mismas está condicionada por el medio ambiente, condiciones climáticas y el genotipo (Suárez-Estrella et al 2018) por lo que el contenido en los genotipos amargos varía de 140 a 2300 mg/100 g de peso seco, mientras que el de los genotipos dulces oscila entre 20 y 40 mg/100 g de peso seco (Hernández-Ledesma 2019). Las saponinas se pueden reducir mediante el lavado con agua (alcalina o no) o también por la decorticación o escarificado (abrasión mecánica), aunque estas técnicas implican varios problemas, así por ejemplo el lavado contamina el agua residual (Crocì et al 2017). Por otro lado, las saponinas pueden formar complejos insolubles con minerales como el zinc y hierro, haciendo que estos sean inaccesibles y se dificulte su absorción en el nivel intestinal (Jancurová et al 2009).

Es importante mencionar que el contenido presente de saponinas en la quinua limita considerablemente su consumo como alimento por su sabor amargo, además de ser un factor perjudicial para el desarrollo agroindustrial de la quinua, ya que hay estudios que aseguran que su consumo es tóxico para el cuerpo humano, porque irrita el sistema digestivo y las mucosas intestinales, inhibiendo su absorción de nutrientes y produciendo lisis celular (Costa et al 2011).

#### 1.2.2.8 Ácido fítico y oxalatos

El ácido fítico es un antinutriente que se encuentra en forma natural dentro de las semillas de quinua (Haug y Lantzscht 1983). Dichos compuestos impiden la asimilación de los minerales debido a su capacidad de quelarlos, obstruyendo su disponibilidad para nuestro metabolismo (Crocì et al 2017, Haug y Lantzscht 1983). Se encuentra mayormente en el germen de los cereales y leguminosas en concentraciones de 1 a 3% de materia seca, también se encuentran en frutas y verduras en menor proporción (Valencia-Chamorro 2003). En las semillas de quinua, el ácido fítico se encuentra en las capas externas y en el endospermo (Valencia-Chamorro 2003).

Por otro lado, los oxalatos son compuestos tóxicos y que también se encuentran presentes en las semillas de quinua, su consumo elevado dentro de una dieta puede causar hiperoxaluria (formación de cálculos de oxalato) (Jancurová et al 2009).

### 1.3 Uso de la quinua en el campo alimentario

La quinua puede ser empleada dentro de la alimentación humana y animal. En cuanto a la alimentación humana éstas semillas pueden ser utilizadas como granos enteros y como harina y a partir de ellos elaborar diferentes tipos de alimentos, como sopas, pastas, galletas, pan y bebidas (Casas et al 2016). La industria alimentaria lava el grano y lo procesa en diferentes clases de productos como: hojuelas de quinua, harina cruda de quinua, harina tostada, harina instantánea, sémola de maná de quinua y pastas de quinua, principalmente (Torres y Minaya 1998).

Dentro de la industria de la panificación, la quinua es empleada para aumentar la calidad nutricional de los productos, para ello se han realizado investigaciones en las cuales se reemplaza un porcentaje de harina de trigo por la harina de quinua (Casas et al 2016). El pan con mayor aceptabilidad sensorial y una mejor condición de volumen fue la formulación que emplea el 10% de harina de quinua y 90% de harina de trigo, además se obtuvo un incremento de 2.2% de proteína (García 2011).

Como consecuencia de su composición química, la quinua se encuentra incluida en la lista de los “superalimentos”, que son productos considerados como densamente poblados de muchos nutrientes que el organismo requiere; además de contener antioxidantes y un alto contenido de compuestos antiinflamatorios, haciéndola potencialmente beneficiosa para la salud en la prevención y tratamiento de enfermedades (Hernández 2015).

Debido al redescubrimiento del alto potencial agrícola y nutritivo de la quinua, el interés por la ella ha aumentado en los últimos años. Es un alimento que ha acompañado a la cultura andina por más de cinco mil años, y en los últimos tiempos ganó interés en Estados Unidos y Europa. Actualmente se considera un producto “estrella” a nivel mundial por sus propiedades nutritivas. Posee todos los aminoácidos esenciales, de manera que es una fuente de proteína completa y de alto valor biológico, pudiendo ser apreciada también por la población vegetariana y vegana (Ayala 2013). Por ser alta en fibra, se digiere lentamente, lo que aporta para que tenga un índice glucémico bajo, siendo una buena opción para diabéticos (Hernández 2015).

#### 1.3.1 Reducción del contenido de saponinas

Para mejorar la aceptabilidad de la quinua, se han desarrollado varios métodos para la reducción o eliminación de saponinas, entre los más importantes están la desaponificación por vía húmeda, vía seca y la combinación de ambas (Marca et al 2011).

#### 1.3.1.1 Método húmedo

La desaponificación se puede realizar manual y mecánicamente. Cuando se van a desaponificar pequeños volúmenes de quinua no se requiere de equipos y se lo hace manualmente, se remoja la quinua en agua y se frota los granos por un tiempo determinado (Figura 2), luego se procede al secado.

**Figura 2.** Método tradicional de eliminación de saponina en quinua por lavado



Fuente: Nieto, C. y Vimos, C. *La quinua, cosecha y poscosecha, algunas experiencias del Ecuador*. Fotografía. (1992).

Existen varias propuestas en el mercado para la desaponificación por lavado mecánico; pero se pueden resumir en los siguientes pasos:

**Lavado:** Se debe realizar en un tanque de acero inoxidable provisto de agitación y rompeolas que tiene la función de crear un remolino y separar las saponinas. Además, separa las piedrecillas que pueden estar con las semillas y también realiza el lavado.

**Enjuagado:** En esta etapa se separa la espuma que se forma durante el lavado, para este propósito el equipo tiene aspersores dispuestos horizontalmente por donde circula la quinua lavada, frota la quinua y separa el agua amarga de la quinua lavada (Marca et al 2011).

**Centrifugado:** En esta etapa se permite eliminar el contenido de agua en la quinua lavada, a través de un cilindro con orificios de alrededor de 1 mm de diámetro a manera de canastillo, que gira en el interior del cilindro a elevadas velocidades (Marca et al 2011).

**Figura 3.** Máquina despedadora, lavadora, enjuagadora y centrifugadora



Fuente: Marca, S., Chaucha, W., Quispe, J. y Mamani, V. *Comportamiento actual de los agentes de la cadena productiva de Quinua en la región Puno*. Fotografía. (2011).

Secado: Es un proceso mediante el cual se elimina el contenido de humedad restante en el grano, hasta llegar a menos del 12 por ciento. La misma que se puede efectuar de manera natural (sobre mantas oscuras y exposición a la radiación solar) y a través de máquinas mediante transferencia de calor por convección (Figura 4) (Marca et al 2011).

**Figura 4.** Métodos de secado de grano: a) natural y b) mecanizado



Fuente: Marca, S., Chaucha, W., Quispe, J. y Mamani, V. *Comportamiento actual de los agentes de la cadena productiva de Quinua en la región Puno*. Fotografía. (2011).

#### 1.3.1.2 Método en seco

También conocido como escarificado, se basa en someter el grano a un proceso de fricción para eliminar las capas periféricas del mismo, que son las que contienen las saponinas (Torres y Minaya 1980).

Consiste en utilizar principios mecánicos que pueden ser manual y mecanizado. El proceso manual consiste en introducir el grano de quinua en saquillos y mediante golpeteos se produce una fricción en la cual se desprende la saponina (Shunta-Ronquillo 2018), también se puede frotar el grano ya sea con la mano o utilizando un mortero, para esto la quinua debe ser pre tostada, este proceso es adecuado

para pequeñas cantidades y es practicado por los productores (Figura 5). Para desaponificar grandes volúmenes, se requiere necesariamente de máquinas y equipos (Marca et al 2011).

**Figura 5.** Proceso de escarificación manual de la quinua



Fuente: Shunta-Ronquillo, J. *Optimización del desaponificado de la quinua para la elaboración de productos derivados mediante la implementación de una máquina escarificadora en la empresa ASOALIENU*. Fotografía. (2018).

El escarificador básicamente retira el pericarpio del grano (cáscara) sin dañar el producto. Este equipo consiste en un tambor giratorio con paletas que giran a altas revoluciones por donde pasa la quinua y choca contra una malla perforada que separa la corteza pulverizada del grano escarificado (Marca et al 2011).

#### 1.3.1.3 Método combinado

Conocido también como mixto, aplica los métodos seco y húmedo para la eliminación de las saponinas. Primero se realiza un escarificado de las semillas, que posteriormente son lavadas y secadas. Este es el método más eficaz y recomendado para la eliminación de saponinas en las semillas de quinua (Corzo 2016).

#### 1.3.2 Propiedades sensoriales y aceptabilidad

En los últimos años ha habido un incremento masivo de consumidores que optan por llevar una dieta vegetariana, vegana y además libre de gluten. Esto se ha visto reflejado en el aumento del consumo de quinua a nivel mundial, sobre todo en Europa y Estados Unidos. La población occidental consume la quinua en ensaladas y sopas, generalmente; además, la quinua ha sido muy utilizada en la producción de mezclas de harinas libres de gluten para elaboración de pan, galletas y pastas (Suárez-Estrella et al 2019).

Según un estudio descriptivo de las semillas de quinua, la variedad de atributos sensoriales que se pueden considerar para determinar su aceptabilidad es amplia, por ejemplo, atributos relacionados con el sabor, aroma, textura y color (Wu et al 2017). Dicho estudio indicó que la aceptabilidad en general de los granos fue por la intensidad del aroma a hierba y por su textura firme y crujiente, por otra parte, características como pastoso, pegajoso y cohesivo son cualidades negativas para su aceptabilidad. No obstante, la preferencia del consumidor se vio influenciada por

su dieta y familiaridad con la quinua, aquellos que consumen mayor cantidad de productos orgánicos mostraron mayor preferencia. (Suárez-Estrella et al 2019).

#### 1.4 Germinación de la quinua

Las condiciones ambientales influyen en la germinación de las semillas de quinua. Se ha determinado que el tiempo óptimo para su germinación a una temperatura de 22 °C, con una humedad relativa del 90% es de 48 h en condiciones de oscuridad y ventilación continua (Suárez-Estrella et al 2019).

Por otro lado, el tiempo de germinación de la quinua bajo tierra demora entre 7 y 10 días (Arenas y Heredia 2017). Sin embargo, en condiciones experimentales a nivel de laboratorio, a una temperatura de 2 °C la velocidad de germinación de las semillas se reduce; pero también, es posible germinar el 100 por ciento de las semillas a una temperatura de 18 y 23 °C luego de 10 h (Bois et al 2006).

La germinación consta de 3 etapas sucesivas (Arenas y Heredia 2017, Gómez y Aguilar 2016):

- a) Imbibición: Es un proceso de absorción de agua por parte de la semilla. Esta etapa es esencial en el proceso de germinación puesto que permite el inicio de su metabolismo.
- b) Activación enzimática: En esta etapa la absorción del agua se reduce considerablemente para dar paso a las distintas transformaciones metabólicas que son necesarias para el desarrollo de la plántula.
- c) Crecimiento: Este se ve asociado con el crecimiento de la radícula y un aumento de la actividad metabólica dando paso a nueva actividad de absorción de agua, paso que se realiza sólo con fines de cultivo, no para uso industrial de la semilla germinada..

##### 1.4.1 Germinación con fines de alimentación

El incremento del consumo de alimentos germinados ha generado un gran interés en el desarrollo de nuevos productos por parte de las industrias alimentarias (Ponce de León et al 2020). La germinación incrementa la biodisponibilidad de los macro y micronutrientes de los alimentos, además de brindar grandes beneficios como:

- Eliminar compuestos tóxicos, depurar y eliminar residuos que se encuentran almacenados en los tejidos o en la sangre.
- Disminuir el contenido de grasas.
- Mejorar el aporte de aminoácidos esenciales como lisina, fenilalanina y triptófano, así como de los no esenciales: prolina y alanina, los cuales son indispensables para mantener una alimentación balanceada.
- Mejorar la digestión y aumentar las defensas en el sistema inmunológico (Valderrama 2017).

La germinación da un valor agregado a las harinas de quinua debido a los beneficios antes mencionados, y ofrece a la población mayores opciones de consumo.

#### 1.4.2 Mecanismos de germinación

##### 1.4.2.1 Germinación precosecha

La germinación precosecha es conocida como germinación de granos fisiológicamente maduros antes de la cosecha (Paulsen y Auld 2004). Este mecanismo está asociado a varios factores como un rocío intenso, una prolongada o repetida lluvia, alta humedad y una baja temperatura después de la maduración del grano (Paulsen y Auld 2004), cuando estos factores se ajustan con la capacidad de germinación de las semillas (granos sin dormición) ocurre la germinación precosecha (Ceccato et al 2013). Constituye así un problema, debido a que limita la expansión del cultivo de la quinua hacia territorios húmedos (Paulsen y Auld 2004).

##### 1.4.2.2 Germinación por almacenamiento en condiciones inadecuadas

El correcto almacenamiento de las semillas es indispensable para asegurar su valor comercial y mantener su integridad por más tiempo, para ello se necesita que las condiciones de humedad y temperatura sean controladas (Arenas y Heredia 2017).

El contenido de humedad del grano después de la trilla se encuentra entre 15 y 20% de humedad, contenido que dependerá del grado de maduración de las plantas y también de la humedad del ambiente, si el grano es almacenado bajo condiciones de alta humedad se producirá una serie de reacciones químicas, como germinación, fermentación y oxidación del grano (Nieto y Vimos 1992). Las semillas no deben contener valores superiores al 14% de humedad para ser almacenadas, además deben ser colocadas en lugares frescos, con buena ventilación y secos (Meyhuay 2013). Si el tiempo de almacenamiento es por un periodo corto, las semillas deben almacenarse en envases cerrados como frascos o bolsas a temperaturas inferiores a 10 °C y baja humedad; por el contrario, si el tiempo de almacenamiento es por un periodo largo, deben ser guardadas herméticamente a 0 °C o menos (Nieto y Vimos 1992).

##### 1.4.2.3 Germinación en condiciones adecuadas

Para germinar las semillas de quinua las condiciones de oxigenación, humedad y temperatura deben ser las apropiadas (Gómez y Aguilar 2016). Como se mencionó anteriormente, para que exista una germinación total de las semillas de quinua la temperatura óptima se encuentra entre 18 y 23 °C (Bois et al 2006) y, la humedad relativa debe ser del 90% y la germinación desarrollarse en condiciones de oscuridad y ventilación continua para limitar o evitar la formación de moho (Suárez-Estrella et al 2019).

## CAPÍTULO 2

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1. Materiales

##### 2.1.1 Germinación de las semillas de quinua

##### 2.1.1.1 Adaptación de un equipo para la germinación de semillas de quinua

Se adaptó un incubador Binder B115 incubador (Tuttlingen, Alemania) (Figura 6), para que cumpla las funciones de germinador, a través del montaje de varios elementos que permitan alcanzar, controlar y mantener las condiciones requeridas de temperatura, humedad y circulación de aire durante la germinación de las semillas. Los elementos colocados son:

- Control de temperatura Autonics TCN4S-24R: controla la temperatura con el algoritmo de control PID (controlador proporcional, integral y derivativo), el cual es un mecanismo de control que regula la temperatura, velocidad, presión y flujo, entre otros aspectos dentro de un sistema general (Control de temperatura Autonics TCN4S-24R, Exhibir)
- Breaker 3p 40 A: corta o conecta la energía de un circuito eléctrico del equipo por medio de una palanca, además protegen el actuador, cuando la corriente del interruptor se sobrecarga (Interruptor Automático EasyPact CVS100F TMD40 Regulable 28-40 A 3P3D, Schneider electric).
- SSR Autonics SR1 4-30VDC, 40A: se encarga de eliminar el calor que es producido por un componente electrónico debido a su utilización.
- Disipador RELEQUICK 60A: prolonga la vida útil de un relé, el cual es un interruptor que permite o bloquea el paso de una corriente eléctrica dentro de un circuito.
- Sensor autonics 2p: sirve para controlar de forma precisa la temperatura.
- Luz piloto autonics: Indica que la máquina está encendida
- Ventilador 110vac, 6: eleva la circulación de aire con la finalidad de homogenizar la temperatura dentro del germinador.
- Membrana de vibración de agua: genera vapor a través de la vibración de una membrana a alta frecuencia.
- Terminales y material menudo.

**Figura 6.** Germinador y adaptación del mismo.

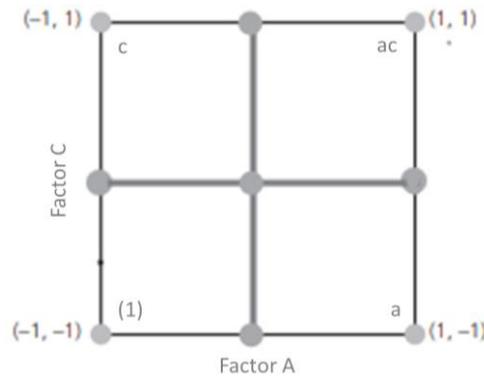


Fuente: Elaboración propia

2.1.2. Aplicaciones de modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización de las condiciones de germinación

Para el desarrollo del proceso de germinación de las semillas de quinua se aplicó un diseño factorial multinivel de superficie de respuesta (Figura 7), el cual es utilizado para estudiar efectos con factores cuantitativos, en donde se empieza especificando un rango de cobertura variado para cada factor y el número de niveles (Cachi 2018).

**Figura 7.** Diseño factorial multinivel de superficie de respuesta.



Fuente: Gutiérrez, H., De la Vara, R. *Análisis y diseño de experimentos*. Imagen digital. (2012)

Los dos factores que se establecieron para el desarrollo del diseño experimental para la optimización de la germinación de las semillas de quinua se detallan en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Condiciones para el diseño experimental de la germinación de las semillas de quinua

<b>Factor</b>	<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite inferior (-1)</b>	<b>Valor medio (0)</b>	<b>Límite Superior (1)</b>
Temperatura	X <sub>1</sub>	°C	19	22	25
Tiempo	X <sub>2</sub>	h	24	48	72

El diseño consiste en el análisis de ocho experimentos y un punto central, el cual es replicado cuatro veces (Figura 7). Se analizan dos factores: temperatura (X<sub>1</sub>, °C) y tiempo (X<sub>2</sub>, h), en donde, las semillas de quinua fueron germinadas a tres diferentes temperaturas (niveles): 19 (-1), 22 (0) y 25 (+1) °C y con tiempos de 24 (-1), 48 (0) y 72 (+1) h (Tabla 6). Para el desarrollo del diseño, los experimentos fueron realizados de manera aleatoria.

**Tabla 6.** Matriz del diseño central compuesto con 4 réplicas centrales para optimizar las condiciones de germinación de las semillas de quinua.

N. EXP	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	1
10	0	-1
11	1	0
12	-1	0

Las respuestas que se obtendrán a partir del diseño experimental son: aceptabilidad por parte del consumidor ( $Y_1$ ) y porcentaje de semillas germinadas ( $Y_2$ ).

#### 2.1.2.1. Proceso de germinación de las semillas de quinua

La presencia y disponibilidad de agua es un factor indispensable para la germinación de las semillas de quinua debido a que determina la imbibición y la posterior activación de procesos metabólicos como la rehidratación de las semillas, mecanismos de restauración (membranas, proteínas y ADN), enlogación celular y brotación de la radícula (Maldonado et al 2002). Por esta razón, las semillas de quinua antes de ser colocadas en el germinador fueron remojadas durante 12 h en una proporción de 1:1.5 (semillas:agua). Posteriormente, se colaron las semillas y se pesó el agua sobrante para determinar la cantidad de agua que fue absorbida por las semillas durante el remojo.

Las semillas una vez cernidas, se colocaron en tamices sobre pozuelos, con la finalidad de que se continúe escurriendo el agua de las mismas y puedan germinar al entrar en contacto con el oxígeno del ambiente, las semillas deben ser movidas cada cierto tiempo para garantizar una buena oxigenación durante la germinación (Figura 8).

**Figura 8.** Germinación de las semillas de quinua

Fuente: Elaboración propia

La germinación de las semillas se realizó a temperaturas de 19, 22 y 24 °C por tiempos de 24, 48 y 72 h, de acuerdo a los experimentos detallados en la tabla 6 y con un porcentaje de humedad entre el 75 y el 90%.

Las condiciones de humedad, temperatura y ventilación deben ser las adecuadas dentro del germinador. Al establecer la temperatura deseada en el germinador se programó un intervalo de  $\pm 0.5$  °C respecto a la misma; al llegar la temperatura interior del germinador a la deseada  $+0.5$  °C, se encienden los sistemas de ventilación y de enfriamiento con el fin de garantizar un buen flujo de aire y, por ende, la oxigenación adecuada de las semillas, además de evitar un sobrecalentamiento de la zona interna, por otro lado, al alcanzar la temperatura deseada  $-0.5$ , los sistemas de enfriamiento y ventilación se apagan y se encienden las niquelinas para elevar la temperatura y mantener el ambiente bajo las condiciones programadas en el germinador.

En cuanto a la generación de humedad, se da mediante la formación de una niebla obtenida por un proceso de vibración aplicado dentro de un recipiente con agua que se encuentra dentro de la cámara de germinación, cuya humedad deseada es del  $90\% \pm 2\%$ , por lo que el apagado de la membrana de vibración de agua se realizará automáticamente al alcanzar el 92% de humedad y se encenderá nuevamente al llegar al 88% de humedad. En el caso de la germinación de las semillas de quinua a 19 °C con los diferentes tiempos, se colocó hielo en el recipiente con agua dentro de la cámara de germinación, para un mejor control de la temperatura, debido a que el calor generado durante la germinación de las semillas y la temperatura ambiental, reducían la capacidad del sistema de enfriamiento.

Una vez completado el tiempo de germinación de cada experimento, se colocaron las semillas sobre lienzos y se introdujeron en un deshidratador (Excalibur modelo 3900B Deluxe, Brooklyn, New York, USA) a 50 °C durante 5 h. Finalmente, las

semillas secas de quinua germinadas se colocaron en fundas herméticas, debidamente rotuladas, para evitar que ganen humedad y se mantuvieron en refrigeración a 4 °C (Figura 9).

**Figura 9.** Almacenamiento y conservación de las semillas de quinua



Fuente: Elaboración propia

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Determinación del porcentaje de germinación

Para determinar el porcentaje de germinación de cada una de las muestras germinadas bajo las condiciones específicas de cada experimento, se tomaron 300 semillas recién sacadas del germinador y se colocaron ordenadamente sobre un escáner para obtener imágenes de las mismas (Figura 10). El escaneado se realizó colocando una tapa de cartón con fondo negro y se incluyó también una regla, que nos ayudó a dimensionar las semillas con las raíces que se generaron. El escaneado se realizó con una calidad de 300 dpi para garantizar una buena calidad de las imágenes obtenidas.

La determinación del porcentaje de semillas germinadas se realizó contando la cantidad de semillas germinadas de cada una de las muestras en las imágenes escaneadas.

**Figura 10.** Proceso de escaneado de semillas y ejemplo de imagen obtenida



Fuente: Elaboración propia

## 2.2.2 Análisis fisicoquímicos y sensoriales de las semillas germinadas

### 2.2.2.1 Determinación del contenido de saponinas (Método de la espuma)

De acuerdo a la norma oficial ecuatoriana NTE INEN 1672:1988, el método de la espuma nos permite determinar el porcentaje de saponinas presentes en las semillas, este método consiste en pesar  $0.50 \pm 0.02$  g de granos de quinua y colocar en tubos de ensayo ( $L= 160$  mm y  $\varnothing= 16$  mm). Después, se añaden  $5 \text{ cm}^3$  de agua destilada y se agita fuertemente durante 30 s, se deja reposar por 30 min; luego de lo cual se agita nuevamente por 30 s y se deja reposar por otros 30 min. Finalmente, se agitan las muestras durante 30 s y se deja reposar por 5 min más y se mide la altura de la espuma obtenida.

Con los datos obtenidos se aplica la Ecuación 1 para determinar el porcentaje de saponinas presentes en diferentes genotipos de quinua.

$$Ps = \frac{(0.646 \times h) - 0.104}{m \times 10} \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde Ps es el contenido de saponina en la quinua (porcentaje), h es la altura de la espuma en cm y m es la masa de la muestra en g.

### 2.2.2.2 Determinación del porcentaje de humedad

La determinación del contenido de humedad es una de las pruebas de mayor importancia usadas en el procesamiento y control de los productos alimenticios. Consiste en la exposición de los productos a elevadas temperaturas ( $105$  a  $130 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ ), con el fin de evaporar el agua contenida y calcularla por diferencia de peso. Hoy en día existen instrumentos que realizan este proceso y el cálculo del porcentaje de agua eliminada (humedad) automáticamente, como las termobalanzas. Normalmente, la humedad se expresa en porcentaje.

Se colocaron alrededor de 3 g de semillas de quinua sin tratar y de quinua remojada por 12 h en la termobalanza (Sartorius MA35M, Gottingen, Alemania) a  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  por 15 min (Figura 11). Esta prueba se realizó por triplicado.

**Figura 11.** Determinación de humedad en la termobalanza.



Fuente: elaboración propia

### 2.2.2.3 Tiempo óptimo de cocción

El tiempo óptimo de cocción de las semillas es aquel que transcurre desde cuando las semillas son sumergidas en agua hirviendo hasta cuando los gránulos de almidón que se encuentran dentro del perisperma se gelatinizan completamente (Wood 2017). Este proceso puede tomar alrededor de unos 15 min a una temperatura de 86 °C (Valenzuela et al 2017). En el caso de las semillas de quinua este tiempo óptimo de cocción se verifica una vez que el centro blanco o corazón de la quinua desaparece, dejando lugar a un color amarillo.

Se colocaron 200 cm<sup>3</sup> de agua destilada en vasos de precipitación sobre una cocineta. El agua se calentó hasta ebullición y se colocaron 30 g de semillas de quinua germinada al empezar a hervir; se mueve con una varilla agitadora durante 20 s y se deja cocer a 89 °C hasta la desaparición del centro blanco, el movimiento del agua en ebullición hace innecesario continuar con la agitación externa (Figura 12).

**Figura 12.** Cocción de las semillas de quinua germinadas



Fuente: Elaboración propia

### 2.2.2.4 Análisis sensorial

Los análisis sensoriales se basan exclusivamente en la percepción individual de cada catador. El análisis sensorial es una herramienta de suma importancia para el desarrollo de nuevos productos, ya que ayuda a determinar la potencial aceptación del mismo por parte de los consumidores. Particularmente, con estos análisis se evalúa el sabor, color, aroma, textura y otros parámetros sensoriales (Hubbard 2012). La evaluación sensorial de las muestras obtenidas se realizó con un grupo de 10 catadores semientrenados. Para ello se aplicó un método expuesto por Larmond (1977) en el que se valoran los siguientes parámetros: sabor o gusto, aspecto y textura y olor o aroma, además de algunas características específicas de cada uno de ellos.

#### 2.2.2.4.1 Ficha de cata

Para la elaboración de las fichas de cata, se utilizó una escala hedónica de siete niveles, en donde “1” corresponde a la valoración más baja “Me disgusta mucho” y

“7” a la valoración más alta “Me gusta mucho” como se presenta en el anexo 1. Los catadores deben señalar cuánto les gusta o disgusta cada una de las características evaluadas, y que se encuentran definidas en la hoja que se adjuntó a la ficha de cata (anexo 2).

### 2.2.3 Molienda

El proceso de molienda en la industria alimentaria es de gran importancia ya que permite alcanzar un correcto tamaño de la partícula de la harina para su utilización en procesos industriales. Se colocaron 50 g de muestra en un molino (IKA WERKE modelo M20S3, São Paulo, Brasil) (Figura 13) durante un minuto con treinta s para asegurar la molienda homogénea de todas las semillas con circulación constante de agua y así evitar el recalentamiento de la muestra.

**Figura 13.** Molino empleado en la molienda de semillas de quinua y fuente de agua fría de recirculación



Fuente: Elaboración propia

### 2.2.4 Panificación

Estudios previos acerca de la aceptabilidad del pan elaborado con diferentes porcentajes de sustitución, demuestran que es factible adicionar: 6, 10, 15 y hasta un 20% de harina de quinua para la elaboración de pan (FAO 2021, Calderelli et al 2010, Salazar et al 2017).

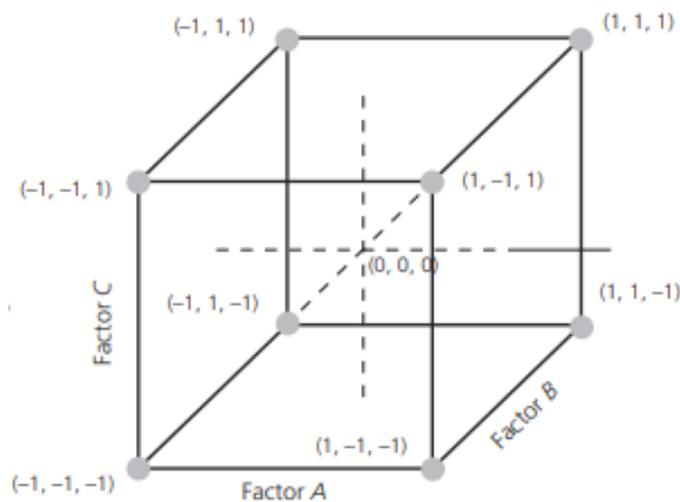
Para la optimización del pan se aplicó un diseño experimental considerando las mismas condiciones de tiempos y temperaturas de germinación utilizados en el diseño de las semillas. Se introdujo un factor adicional que es el porcentaje de sustitución de la harina de trigo por harina de quinua germinada en proporciones del 10, 20 y 30%. Para la optimización del pan consideramos la aceptabilidad por parte del consumidor y el número de semillas germinadas como un indicativo de la calidad del proceso germinativo aplicado. El pan se elaboró con 70, 80, o 90% de harina de trigo y 30, 20 y 10% de harina de quinua, respectivamente; además de 2.5% de levadura fresca, 1.5% de sal y 65% de agua (o la cantidad que sea necesaria para alcanzar la consistencia de masa deseada).

Para la elaboración del pan se incorporaron todos los ingredientes en una amasadora a espiral (KitchenAid Professional 600 modelo FBA\_KP26M1XQG, Michigan, USA), luego se mezclaron durante 1 minuto a velocidad baja y se amasaron 5 min a velocidad media. Posteriormente, se pesaron porciones de 250 g de la masa obtenida, la cual fue boleada (redondeada) manualmente para posteriormente dejarla reposar durante 10 min a temperatura ambiente. Seguidamente, las masas fueron formadas con movimientos envolventes, obteniéndose unos cilindros envueltos que fueron colocados en moldes previamente engrasados. Estos moldes fueron introducidos en la cámara de leudo (Unox Bakertop Mind Lievox 8 modelo XEBPC-08EU-B, Cagliari, Italia) a 30°C con 75% de humedad durante 75-85 min o hasta que la masa sobrepase un centímetro del borde del molde. Finalmente, se horneará en el horno (Unox Bakertop modelo XEBC-06FS-EPRM-AL, Cagliari, Italia) a 200 °C durante 25 min, con baja ventilación e inyección de vapor al inicio del horneado.

#### 2.2.5 Aplicación de modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización del pan

Para la optimización del pan con diferentes niveles de sustitución de harina de quinua germinada se aplicó un diseño experimental factorial completo  $2^3$  con cuatro réplicas al punto central (Figura 14).

**Figura 14.** Diseño factorial  $2^3$  y su representación geométrica



Fuente: Gutiérrez, H., De la Vara, R. *Análisis y diseño de experimentos*. Imagen digital. (2012).

Los tres factores que se establecieron para el desarrollo del diseño experimental para la optimización del pan de quinua se detallan en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Condiciones del diseño experimental factorial para la optimización del pan

Variable	Factor	Unidad	Límite inferior (-1)	Valor medio (0)	Límite superior (+1)
X <sub>1</sub>	Temperatura	°C	19	22	25
X <sub>2</sub>	Tiempo	H	24	48	72
X <sub>3</sub>	Mezcla	%	10	20	30

Este tipo de diseño requiere un bajo número de corridas para estudiar el efecto de los factores y sus interacciones, por lo que suele ser utilizado en experimentos de selección de factores (Montgomery 2005). Para la optimización del pan se evaluaron tres factores: temperatura de germinación de las semillas utilizadas (X<sub>1</sub>, °C), tiempo (X<sub>2</sub>, h) y el porcentaje de mezcla (X<sub>3</sub>, %) (Tabla 8).

**Tabla 8.** Matriz del diseño factorial de dos niveles y tres factores, con cuatro réplicas al punto central para el pan con quinua

N. EXP	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	0	0

De acuerdo a los resultados obtenidos, como se explicará más adelante, fue necesario culminar la optimización del pan elaborado con un diseño experimental de superficie de respuesta, dicho diseño consiste en un conjunto de métodos matemáticos y estadísticos importantes en el análisis y modelado de problemas en los que una respuesta que es de utilidad recibe el dominio de diferentes variables con el objetivo de optimizar dicha respuesta. La metodología del diseño de superficie de respuesta es utilizada para mejorar los modelos luego de determinar

los factores importantes (Montgomery 2005), similar a lo explicado previamente para la optimización de las semillas germinadas para consumo directo; pero considerando solamente las variables: temperatura de germinación y porcentaje de mezcla y realizando los experimentos faltantes para completar el nuevo diseño (Tabla 9). Aunque en la Tabla 9 se incluye el tiempo, obsérvese que se considera solamente los puntos -1, además de las réplicas centrales (factor tiempo irrelevante). Para el desarrollo de los dos diseños, el orden de experimentación fue realizado de manera aleatoria.

**Tabla 9.** Matriz del diseño de superficie para dos niveles y dos factores, con 4 réplicas centrales para el pan de quinua

Experimento.	X <sub>1</sub> (°C)	X <sub>2</sub> (h)	X <sub>3</sub> (%)
QP1	-1	-1	-1
QP2	+1	-1	-1
QP5	-1	-1	+1
QP6	+1	-1	+1
QP9	0	0	0
QP10	0	0	0
QP11	0	0	0
QP12	0	0	0
QPR1	-1	0	0
QPR2	+1	-1	0
QPR3	0	-1	1
QPR4	0	-1	-1

QP: experimentos correspondientes a los detallados en la tabla 8. QPR: nuevos experimentos programados

## 2.2.6 Análisis fisicoquímicos del pan

### 2.2.6.1 Determinación del volumen específico

El volumen específico del pan se mide al menos una hora luego de su elaboración. Se utiliza un instrumento diseñado para esta finalidad (Medidor de volumen de pan JMYT, China), previamente calibrado con semillas de colza. La medición se realiza midiendo el volumen de las semillas de colza desplazados por el espacio ocupado por el pan y se calcula como el cociente entre el volumen neto del pan y su peso utilizando la Ecuación 2 (Vega et al 2015):

$$VE = \frac{V}{m} \text{ (Ecuación 2)}$$

donde V es el volumen de desplazamiento (cm<sup>3</sup>) y m es el peso del pan (g).

### 2.2.6.2 Análisis de aceptabilidad por parte del consumidor

Para el desarrollo del análisis del pan enriquecido con quinua se aplicó la misma metodología que fue aplicada anteriormente en las semillas de quinua, pero con diferentes parámetros. La ficha de cata aplicada se detalla en el anexo 3; mientras que la hoja con las indicaciones de evaluación se muestra en el anexo 4.

### 2.2.7 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de todas las muestras son cargados en el programa DART 2.0, el cual nos servirá para obtener la función de utilidad de cada uno de los resultados tanto de las semillas como del pan, se realiza una ponderación de los atributos analizados dependiendo de cuán importante lo considera el analista, además para obtener la función de utilidad en las muestras analizadas, se aplicó la función lineal creciente para todas las respuestas, debido a que se estableció que el valor con mayor importancia dentro del estudio fue "7" siendo este el mejor puntaje dentro de las encuestas, tanto para las semillas como para el pan; mientras que el valor 1 era el menos deseable (Tablas 10 y 11).

**Tabla 10.** Ponderación de cada atributo sensorial para la optimización de las condiciones de germinación

<b>Semillas germinadas de quinua</b>		
<b>Respuestas</b>	<b>Atributos</b>	<b>Ponderación</b>
Y1	Aspecto	3
Y2	Intensidad	2
Y3	Aroma	3
Y4	Gomosidad	1
Y5	Suavidad	2
Y6	Acidez	1
Y7	Dulzor	1
Y8	Amargor	3
Y9	Astringencia	2
Y10	Regusto	3
Y11	Gusto	7
Y12	Aceptabilidad generalidad	10
Y13	Porcentaje de semillas germinadas	5

**Tabla 11.** Ponderación de cada atributo sensorial para la optimización del pan

<b>Pan con harina germinada de quinua</b>		
<b>Respuestas</b>	<b>Atributos</b>	<b>Ponderación</b>
Y1	Color de la miga	1
Y2	Alveolatura	1
Y3	Aspecto	3
Y4	Intensidad	1
Y5	Aroma	3
Y6	Firmeza de la corteza	1
Y7	Firmeza miga	2
Y8	Granulosidad	2
Y9	Gomosidad	1
Y10	Acidez	1
Y11	Dulzor	1
Y12	Amargor	2
Y13	Regusto	3
Y14	Gusto	3
Y15	Aceptabilidad General	10
Y16	Porcentaje de semillas germinadas	5

Para la optimización de las condiciones de germinación de las semillas de quinua y optimización del pan se utilizó el programa Minitab 2017 (Pensilvania, USA) y del programa DART 2.0 (Milán, Italia) el mismo en el que se introdujeron los datos obtenidos del análisis sensorial, porcentaje de germinación. La información obtenida de DART 2.0 es necesaria para el desarrollo de los diferentes diseños y consistió en las respuestas de la utilidad de cada uno de los factores, posteriormente, se selecciona la opción de estadísticas, luego DOE y para el estudio de las condiciones óptimas de germinación de las semillas se seleccionó el diseño de superficie de respuesta; mientras que para el pan se utilizó el diseño factorial; pero luego fue necesario aplicar también el diseño de superficie de respuesta. Finalmente, se colocaron las variables y las respuestas de acuerdo a cada diseño y se obtuvieron los resultados.

El análisis estadístico del contenido de saponinas y del volumen específico se realizó utilizando el análisis de la varianza (ANOVA) con el programa Statgraphics 5.1 (StatPoint Inc., Warrenton, VA, USA).

### CAPÍTULO 3

#### RESULTADOS

#### 3.1 Proceso de germinación de las semillas de quinua

Terminado el proceso de remojo de las semillas durante las 12 h, se colaron y el agua sobrante se pesó para calcular la cantidad de agua absorbida por las mismas. Este proceso se realizó con cinco muestras, obteniéndose un porcentaje de absorción de  $92.0 \pm 1.4$ , pasando la humedad inicial del grano de  $10.85 \pm 0.23\%$  a  $51.79 \pm 0.85$ , luego del remojo.

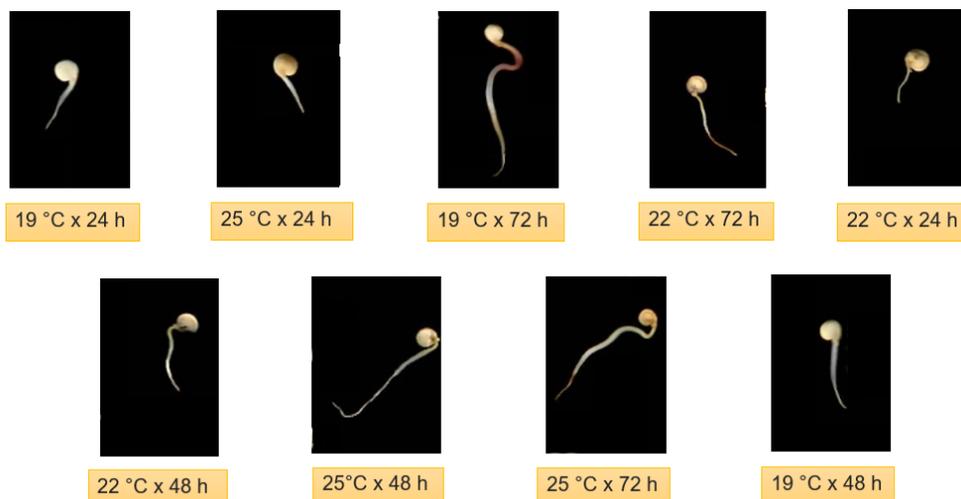
#### 3.2 Porcentaje de germinación de las semillas de quinua

Los resultados expuestos en la Tabla 12, muestran que el mayor porcentaje de germinación se dio en las condiciones de 25 °C por 72 h con un 72.67%, seguido de las condiciones de 22 °C por 72 h con un porcentaje de 71.33%. Por otro lado, las condiciones que menor porcentaje de germinación mostraron fueron 19 °C por 24 h con un 29.33% y 25 °C por 24 h con un 44%. Las semillas germinadas bajo las diferentes condiciones se muestran en la Figura 15.

**Tabla 12.** Porcentaje de germinación de las semillas de quinua

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (h)	SEMILLAS GERMINADAS (%)
25	72	72.67
22	48	64.67
22	48	59.00
19	72	62.33
22	48	57.00
22	24	44.67
22	72	71.33
19	48	60.00
22	48	61.00
19	24	29.33
25	48	60.00
25	24	44.00

**Figura 15.** Imágenes de las semillas germinadas a las diferentes condiciones experimentales



Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Análisis físicoquímicos y sensoriales de las semillas germinadas

#### 3.3.1 Contenido de saponina por método de la espuma

Una vez obtenida la altura de la espuma formada con cada muestra (Tabla 13) se debía proceder a la aplicación de la ecuación 1 para la determinación del contenido de saponinas; sin embargo, no fue apropiado realizarlo porque la espuma formada, muy probablemente, no es debida a la presencia de saponina, como se discutirá con mayor profundidad en el capítulo 4.

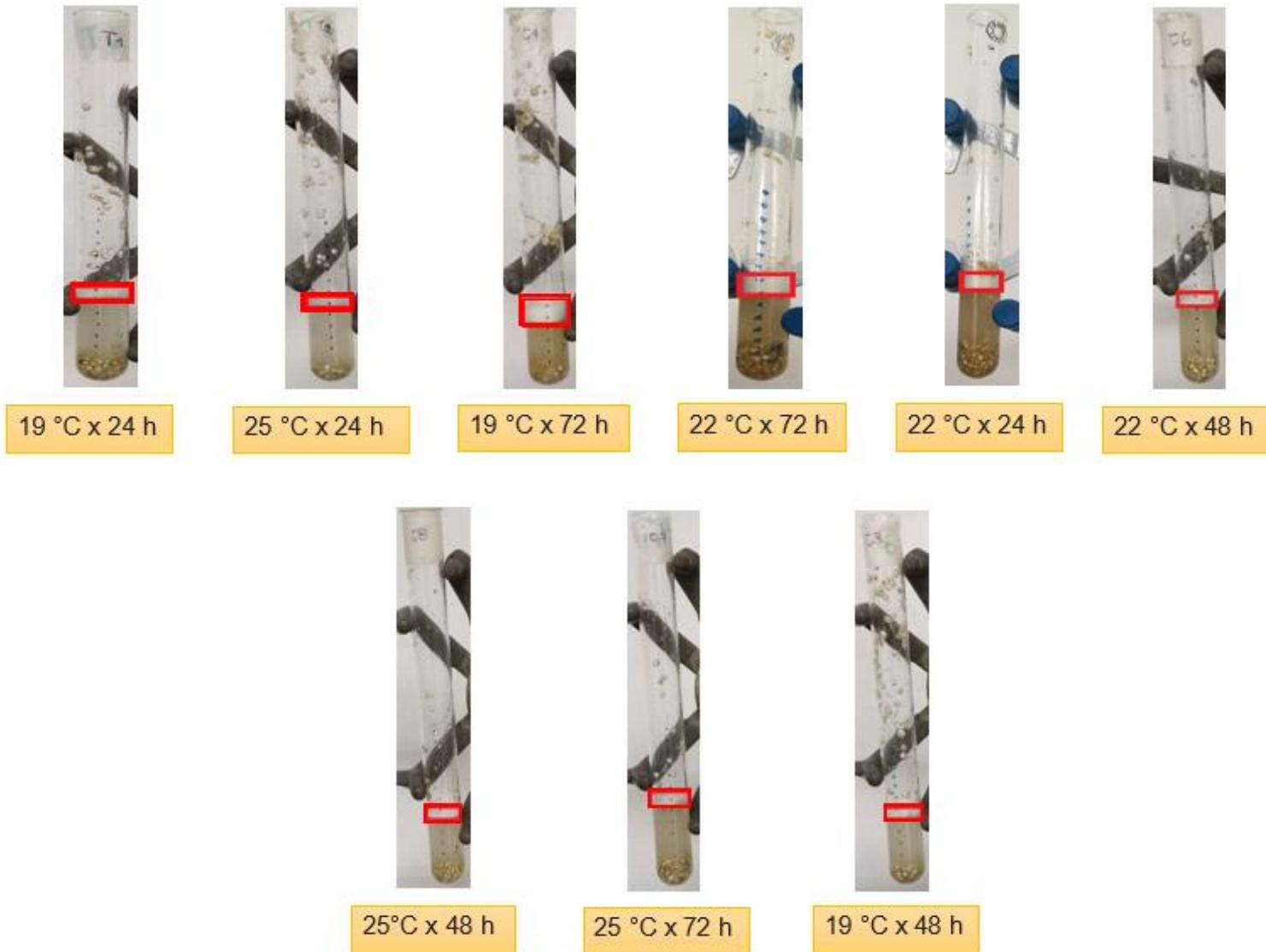
**Tabla 13.** Contenido de saponinas en las muestras germinadas

N°. Experimentos	Muestra	Altura de la espuma cm
1	19 por 24	0.532 ± 0.001 <sup>c</sup>
2	19 por 48	0.463 ± 0.001 <sup>c</sup>
3	19 por 72	1.070 ± 0.028 <sup>f</sup>
4	22 por 24	1.063 ± 0.028 <sup>ef</sup>
5	22 por 48	0.639 ± 0.014 <sup>d</sup>
6	22 por 48	0.620 ± 0.028 <sup>d</sup>
7	22 por 48	0.664 ± 0.049 <sup>d</sup>
8	22 por 48	0.633 ± 0.035 <sup>d</sup>
9	22 por 72	0.973 ± 0.028 <sup>e</sup>
10	25 por 24	0.336 ± 0.007 <sup>b</sup>
11	25 por 48	0.509 ± 0.028 <sup>c</sup>
12	25 por 72	1.165 ± 0.021 <sup>g</sup>
13	Sin tratar	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>

Media ± desviación standard. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas al 95%, método Tukey HSD, n = 2

Los resultados obtenidos en la tabla 13 e ilustrados en la Figura 16, indican que la espuma del experimento 12 tiene una altura de  $1.165 \pm 0.021$  cm, siendo esta la mayor en comparación con las otras muestras, seguida de los experimentos 3 y 4 con una altura de  $1.070 \pm 0.028$  y  $1.063 \pm 0.028$ , respectivamente. Por otra parte, el experimento 13 que representa la muestra sin tratar, no forma espuma.

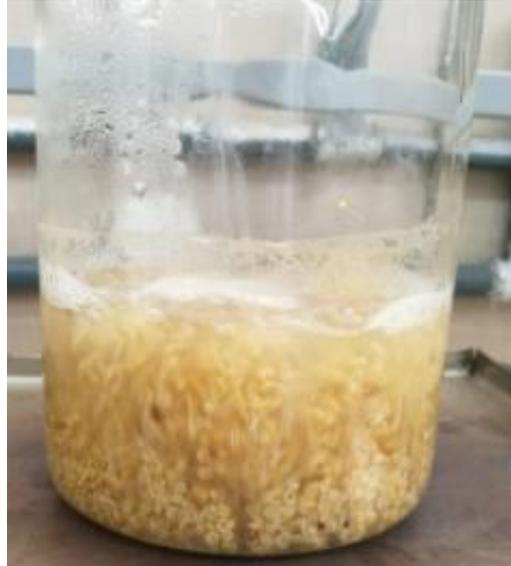
Figura 16. Espuma formada durante la determinación del contenido de saponinas



### 3.3.2 Tiempo óptimo de cocción

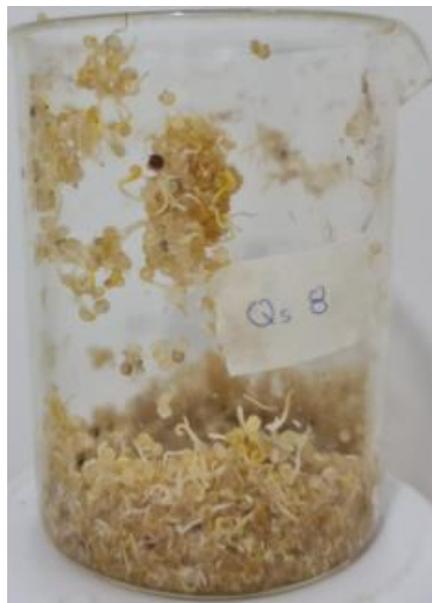
Las muestras presentan un tiempo óptimo de cocción de 17 min, debido a que en este tiempo el almidón presente en el interior de las semillas se gelatinizó en su totalidad (Figuras 17 y 18).

**Figura 17.** Cocción de las semillas germinadas de quinua



Fuente: Elaboración propia

**Figura 18.** Semillas de quinua germinadas, cocidas y coladas



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3 Análisis sensorial de las semillas de quinua germinadas

Los resultados del análisis sensorial fueron tabulados en una matriz para cada experimento establecido (Anexo 3) y se calculó la mediana de cada variable analizada por cada experimento (Tabla 14).

**Tabla 14.** Matriz de las medianas calculadas a partir de las evaluaciones sensoriales de semillas germinadas de quinua

	Visual	Olfativo		Gustativo								
N. Exp.	Aspecto	Intensidad	Aroma	Gomosidad	Suavidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Astringencia	Regusto	Gusto	P. Final
1	5	5.5	5	5	5	5	5	5.5	5	5	5	5
2	6	6	6	5.5	5	5	5	5.5	5	5	5	6
3	4	5.5	5.5	5	5	5	5	5	4.5	4.5	4.5	5
4	5	5.5	6	5	5	5	5.5	5	5	5.5	5.5	5.5
0	6	5	5	5	6	5	6	5	5	6	5.5	5.5
0	5	5	5	5.5	5	5	5	5	5	5	5	5
0	5	5.5	5.5	6	5	5.5	5.5	5.5	5	5.5	5.5	5.5
0	6	5.5	5.5	5	5	4.5	5	5	5	4.5	5	5
9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10	6	5.5	6	5.5	5	5	5	5	5	5	5	5
11	5.5	5.5	5.5	6	6	5.5	5.5	6	5	5.5	6	5.5
12	6	5.5	5	5	5	6	5.5	5	5	5.5	5.5	6

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida la matriz de las medianas de las respuestas sensoriales de las semillas germinadas se procedió a elaborar la Tabla 15, en donde se presentan las condiciones de germinación de cada experimento con su respectiva puntuación acumulada, considerada como la sumatoria de sus medianas. Cabe mencionar que el mayor puntaje para cada atributo en las fichas de cata era de 7 dando como puntuación total de 84 siendo este el 100% (12 atributos evaluados) y el menor puntaje para cada atributo es 1, por lo tanto, los 12 puntos indicarían el 0%, a partir de esto se calculó la puntuación porcentual para cada experimento.

**Tabla 15.** Sumatoria del puntaje obtenido por las semillas germinadas y su porcentaje equivalente

Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Total	Puntuación acumulada	Puntaje porcentual
25	72	5.0	64.0	72.22
22	48	6.0	63.5	71.53
22	48	5.0	58.5	64.58
19	72	5.5	59.5	65.97
22	48	5.5	64.5	72.92
22	24	5.0	62.0	69.44
22	72	5.5	62.5	70.14
19	48	5.0	66.5	75.69
22	48	5.0	62.0	69.44
19	24	5.0	64.5	72.92
25	48	5.5	66.5	75.69
25	24	6.0	64.0	72.22

Fuente: Elaboración propia

#### 3.4 Aplicación de modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización de las condiciones de germinación de semillas para consumo directo

Dentro del diseño experimental detallado en la sección 2.1.2, las respuestas para la aplicación del diseño son el porcentaje de semillas germinadas y los resultados de la evaluación sensorial. Estas respuestas fueron introducidas en el programa DART 2.0, aplicando una función lineal creciente para todos los factores, con sus respectivas ponderaciones, obteniéndose la utilidad, que es la respuesta de cada factor del diseño tal como se muestra en la Tabla 16.

**Tabla 16.** Matriz de respuestas del diseño multinivel para la optimización de las condiciones de germinación de semillas para consumo directo

N. EXP	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y (U)
1	-1	-1	0.523
2	1	-1	0.355
3	-1	1	0.286
4	1	1	0.154
5	0	0	0.669
6	0	0	0.572
7	0	0	0.321
8	0	0	0.597
9	0	1	0.760
10	0	-1	0.219
11	1	0	0.264
12	-1	0	0.639

Esta matriz fue empleada para el desarrollo del diseño factorial multinivel en el programa Minitab 17, en donde se obtuvo la respuesta óptima para las condiciones de germinación, donde se observan las interacciones de los factores con el eje, y las interacciones entre sí (Tabla 17).

**Tabla 17.** Matriz del modelo de regresión para el diseño factorial multinivel

N. EXP	I	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>
1	1	-1	-1	1
2	1	1	-1	-1
3	1	-1	1	-1
4	1	1	1	1
5	1	0	0	0
6	1	0	0	0
7	1	0	0	0
8	1	0	0	0
9	1	0	1	0
10	1	0	-1	0
11	1	1	0	0
12	1	-1	0	0

I.: Intersección con el eje de las x.

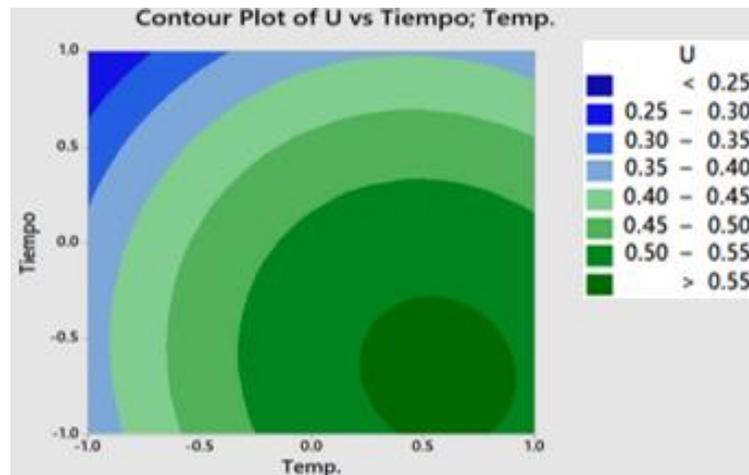
Con la matriz anterior se obtendrá la ecuación polinomial (ecuación 3) con el que se graficará la gráfica de contorno obtenido del diseño multinivel aplicado para la optimización de las condiciones de germinación.

$$U = 0.513 + 0.0760 \text{ Temp.} - 0.0720 \text{ Tiempo} - 0.075 \text{ Temp.} * \text{Temp.} - 0.059 \text{ Tiempo} * \text{Tiempo} - 0.013 \text{ Temp.} * \text{Tiempo} \text{ (Ecuación 3)}$$

#### 3.4.1 Optimización de las condiciones de germinación

De acuerdo a la gráfica de contorno (Figura 19) se muestran las interacciones de los factores tiempo y temperatura de germinación. En la parte derecha de la gráfica se observa el valor de la utilidad en donde se establece la respuesta optimizada a partir del diseño experimental. Las secciones de color azul fuerte, medio y claro tienen baja utilidad, sin embargo, a medida que se va intensificando el color verde su utilidad es mayor (>0.55).

**Figura 19.** Gráfico de contorno para la optimización de las condiciones de germinación de las semillas de quinua con fines de consumo directo



Fuente: Elaboración propia. Temp.: Temperatura

#### 3.5 Aplicación de modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización de pan enriquecido con harina germinada

Al igual que para la optimización de las condiciones de germinación de semillas para consumo directo, las medianas de las respuestas obtenidas de la evaluación sensorial del pan (Tabla 18) y el porcentaje de semillas germinadas fueron introducidas en DART 2.0. Se utilizó una función lineal creciente, donde el valor con mejor puntaje en las encuestas sensoriales fue el mayor (7) y el peor fue el menor (1); además se ingresaron las respectivas ponderaciones, obteniendo la respuesta multivariada (utilidad) de los datos (Tabla 19).

**Tabla 18.** Matriz de las medianas de las respuestas sensoriales del pan elaborado con harina de quinua germinada

Experimento	Visual			Olfativo		Textura			Gustativo						Aceptabilidad general
	Color miga	Alveolatura	Aspecto	Intensidad	Aroma	Firmeza Corteza	Firmeza Miga	Granulosidad	Gomosidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Regusto	Gusto	
1	5	5	5.5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5.5	5.5	5
2	5.5	4.5	5	5	5	5	5.5	5	4.5	4	4	4	4	5	5
3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
4	7	6	6	6	6	5	6	6	5	6	5.5	5.5	5.5	5.5	6
5	6.5	5.5	6	5.5	6	5	6	6	6	5.5	5.5	6	5.5	6.5	6
6	3	4	3.5	4	3.5	3.5	3.5	3	3.5	3	3.5	3.5	2.5	3.5	3.5
7	3	3	3	4	4	5	4	4	4	4	4	4	5	5	5
8	2.5	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	2	3	3
0	5	5	5.5	5.5	5	5	5.5	5.5	6	5.5	4.5	5.5	5	5.5	5.5
0	6	5	6	4.5	4	4	5	5.5	5	3.5	4.5	4	4.5	5.5	5
0	4	3.5	3.5	3.5	4	3	4	4.5	5	5	4	4	5	5	5
0	4.5	5	4.5	5.5	5	5.5	6	6	5	4	4	4	4	5	5

**Tabla 19.** Respuestas del diseño factorial completo para la optimización del pan

N. EXP	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y (U)
1	-1	-1	-1	0.678
2	+1	-1	-1	0.551
3	-1	+1	-1	0.971
4	+1	+1	-1	0.880
5	-1	-1	+1	0.858
6	+1	-1	+1	0.145
7	-1	+1	+1	0.371
8	+1	+1	+1	0.396
9	0	0	0	0.858
10	0	0	0	0.634
11	0	0	0	0.764
12	0	0	0	0.396

Esta matriz se emplea para el desarrollo del diseño factorial completo en el programa Minitab 17, esta fase exploratoria permite obtener información acerca de los factores que son significativos dentro del estudio para llegar a la optimización del pan, en donde se obtiene la interacción de los factores con el eje y las interacciones entre los factores (Tabla 20).

**Tabla 20.** Matriz del modelo de regresión para el diseño factorial completo

N. EXP	I	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>
1	1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
2	1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	-1
3	1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	-1
4	1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
5	1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	-1
6	1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7	1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
8	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
9	1	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0	0
11	1	0	0	0	0	0	0	0
12	1	0	0	0	0	0	0	0

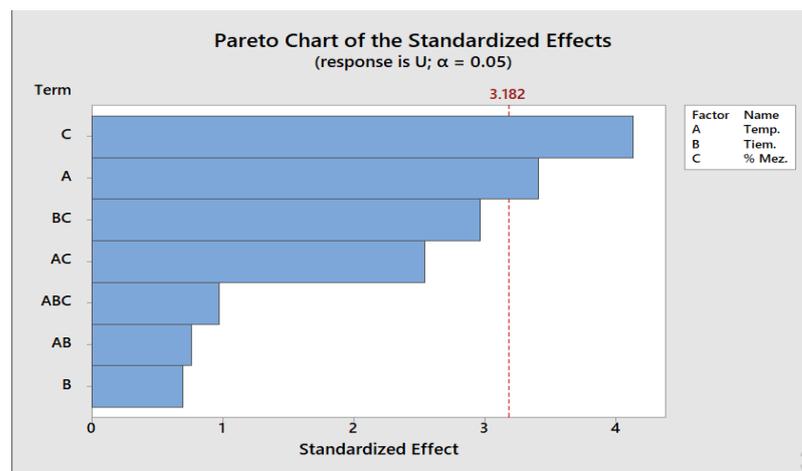
I.: intersección con el eje de las x

Mediante la matriz anterior se obtuvo la ecuación polinomial (Ecuación 4) del diseño factorial completo en cual permite obtener el diagrama de efectos estandarizados de Pareto.

$$U = 0.5817 - 0.1495 \text{ Temp.} + 0.0305 \text{ Tiem.} - 0.1813 \% \text{ Mez.} + 0.0333 \text{ Temp.} * \text{ Tiem.} - 0.1115 \text{ Temp.} * \% \text{ Mez.} - 0.1300 \text{ Tiem.} * \% \text{ Mez.} + 0.0427 \text{ Temp.} * \text{ Tiem.} * \% \text{ Mez.} + 0.0670 \text{ Ct Pt} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Al aplicar el diseño experimental programado ( $2^3$ ) (Figura 8) se obtuvo el diagrama de efectos estandarizados de Pareto (Figura 20) que nos proporcionó los datos necesarios para la identificación de los factores que fueron significativos para la optimización del pan elaborado de acuerdo al diseño experimental y a la ponderación predeterminados (sección 2.2). En el diagrama de Pareto, se graficó una línea de referencia que separó los factores que son estadísticamente significativos dentro del estudio de aquellos que no lo son y se observó que el factor tiempo (B) y las interacciones temperatura-tiempo (AB), temperatura-tiempo-%mezcla (ABC), temperatura-%mezcla (AC), tiempo-temperatura (BC) se encuentran antes de la línea de referencia; en cambio, los factores: porcentaje de mezcla y temperatura se encuentran después de la línea; es decir, son los factores significativos.

**Figura 20.** Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados de las variables estudiadas y sus interacciones



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al diagrama de Pareto, el factor tiempo no es significativo dentro del estudio por lo que ya no es tomado en cuenta para la optimización del pan, quedando únicamente el factor A (temperatura,  $X_1$ ) y el factor C (% de mezcla,  $X_3$ ). En el diseño de superficie se añadieron nuevos puntos experimentales dentro del mismo plano (Figura 6).

Una vez discriminados los factores significativos (temperatura y porcentaje de mezcla) se elaboró un diseño de superficie de respuesta (Tabla 9) para la determinación del punto óptimo. Como fue explicado previamente, además de los cuatro experimentos elegidos entre los 8 precedentes, en base a la influencia no significativa del tiempo de germinación. Se añadieron 4 nuevos experimentos (QPR1 – QPR4), ubicados en el mismo plano de los cuatro elegidos. Las medianas de los resultados sensoriales obtenidos (Tabla 21) y el porcentaje de

semillas germinadas fueron ingresados al programa DART 2.0, en donde, al igual que para la optimización de las semillas germinadas, se utilizó una función lineal creciente para todos los atributos evaluados, donde, para la evaluación sensorial, el puntaje mínimo posible era 1 y el máximo 7; mientras que para el porcentaje de semillas germinadas, iba de 0 a 100. Además, se incluyó la respectiva ponderación preestablecida a cada atributo y se obtuvo la función de utilidad (Tabla 22).

**Tabla 21.** Matriz de las medianas de las respuestas del análisis sensorial del pan con harina de quinua germinada para el diseño de superficie con los nuevos puntos experimentales

Experimento	Visual			Olfativo		Textura			Gustativo						Aceptabilidad general
	Color miga	Alveolatura	Aspecto	Intensidad	Aroma	Firmeza Corteza	Firmeza Miga	Granulosidad	Gomosidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Regusto	Gusto	
1	5	5	5.5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5.5	5.5	5
2	5.5	4.5	5	5	5	5	5.5	5	4.5	4	4	4	4	5	5
3	6.5	5.5	6	5.5	6	5	6	6	6	5.5	5.5	6	5.5	6.5	6
4	3	4	3.5	4	3.5	3.5	3.5	3	3.5	3	3.5	3.5	2.5	3.5	3.5
5	5	5	5.5	5.5	5	5	5.5	5.5	6	5.5	4.5	5.5	5	5.5	5.5
6	6	5	6	4.5	4	4	5	5.5	5	3.5	4.5	4	4.5	5.5	5
7	4	3.5	3.5	3.5	4	3	4	4.5	5	5	4	4	5	5	5
8	4.5	5	4.5	5.5	5	5.5	6	6	5	4	4	4	4	5	5
9	5.5	6	6	5	5	6	5.5	5.5	5	5	5	5	5	5	5.5
10	5	5.5	5	6	6	5	5	5	5.5	6	6	5.5	6	6	6
11	6	5.5	5.5	6	5.5	5	5	5	5.5	6	6	6	6	6	6
12	6.5	6	6	6	6	5.5	6	6	5	6	5.5	5	5.5	6	6

**Tabla 22.** Matriz de las respuestas del diseño de superficie para la optimización del pan

N. Exp.	X1 (°C)	X2 (h)	X3 (%)	Y (U)
QP1	-1	-1	-1	0.792
QP2	+1	-1	-1	0.736
QP5	-1	-1	+1	0.879
QP6	+1	-1	+1	0.524
QP9	0	0	0	0.810
QP10	0	0	0	0.744
QP11	0	0	0	0.679
QP12	0	0	0	0.743
QPR1	-1	0	0	0.792
QPR2	+1	-1	0	0.849
QPR3	0	-1	1	0.857
QPR4	0	-1	-1	0.871

Esta matriz se emplea para el desarrollo del diseño de superficie de respuesta en el programa Minitab 17, tomando en cuenta sólo los factores que significativos dentro del estudio para llegar a la optimización del pan, en donde se obtendrá la interacción de los factores con el eje y las interacciones entre los mismos (Tabla 23).

**Tabla 23.** Matriz del modelo de regresión para el diseño de superficie de respuesta

N. EXP	I	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>
1	1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
2	1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	-1
3	1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	-1
4	1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
5	1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	-1
6	1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7	1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
8	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
9	1	-1	0	0	0	0	0	0
10	1	+1	-1	0	-1	0	0	0
11	1	0	-1	+1	0	0	-1	0
12	1	0	-1	-1	0	0	+1	0

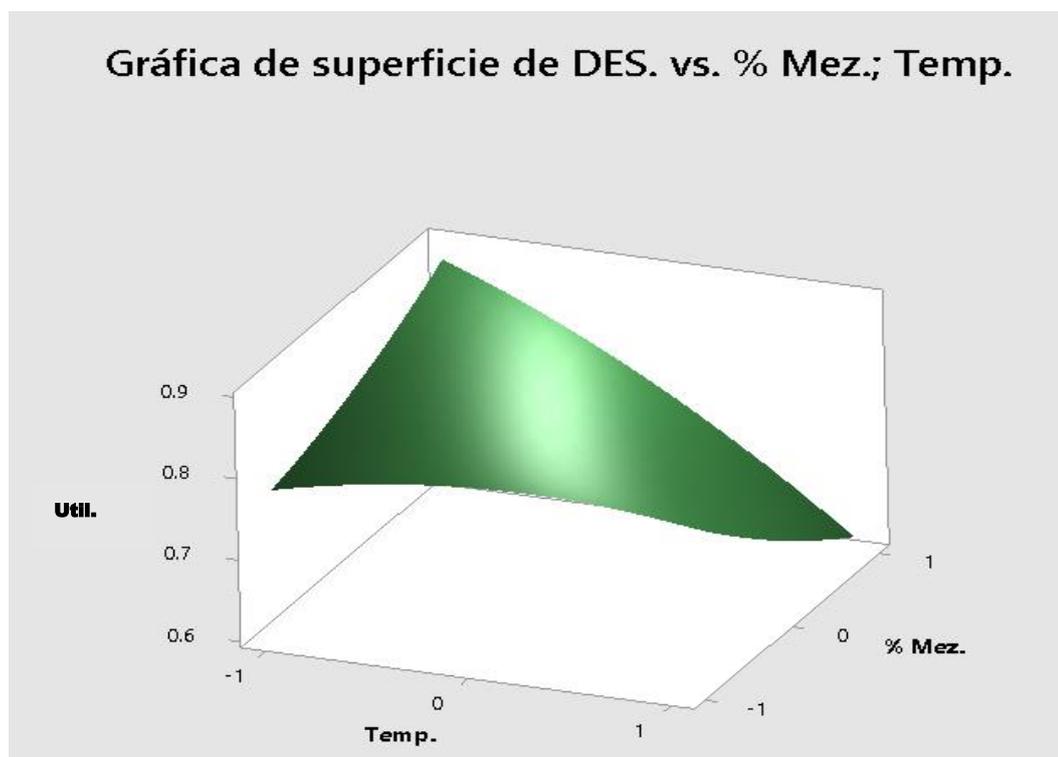
I.: intersección con el eje de las x

Mediante la matriz anterior se obtuvo la ecuación polinomial (Ecuación 5) del diseño factorial completo, el cual permite obtener la superficie de respuesta del diseño.

$$U = 0.7800 - 0.0618 \text{ Temp.} - 0.0232 \% \text{ Mez.} - 0.0231 \text{ Temp} * \text{Temp.} + 0.0119 \% \text{ Mez.} * \% \text{ Mez.} - 0.0747 \text{ Temp.} \% \text{ Mez.} \quad (\text{Ecuación 5})$$

En los resultados obtenidos en la gráfica de superficie de respuesta (Figura 21) se observa la interacción entre: las respuestas obtenidas del diseño (función de utilidad), temperatura (Temp.,  $X_1$ ) y porcentaje de mezcla (%mez.,  $X_3$ ), en donde la inclinación de la curvatura de la gráfica indicó que la mayor utilidad se encuentra en la coordenada (-1, 1) correspondiente a la temperatura y porcentaje de mezcla, respectivamente.

**Figura 21.** Superficie de respuesta del pan elaborado con harina de quinua germinada



Fuente: Elaboración propia. Util.: utilidad, Temp.; temperatura, %Mez.; porcentaje de mezcla.

## 3.6 Análisis físicoquímicos y sensoriales del pan enriquecido con harina de quinua germinada

## 3.6.1 Análisis del volumen específico

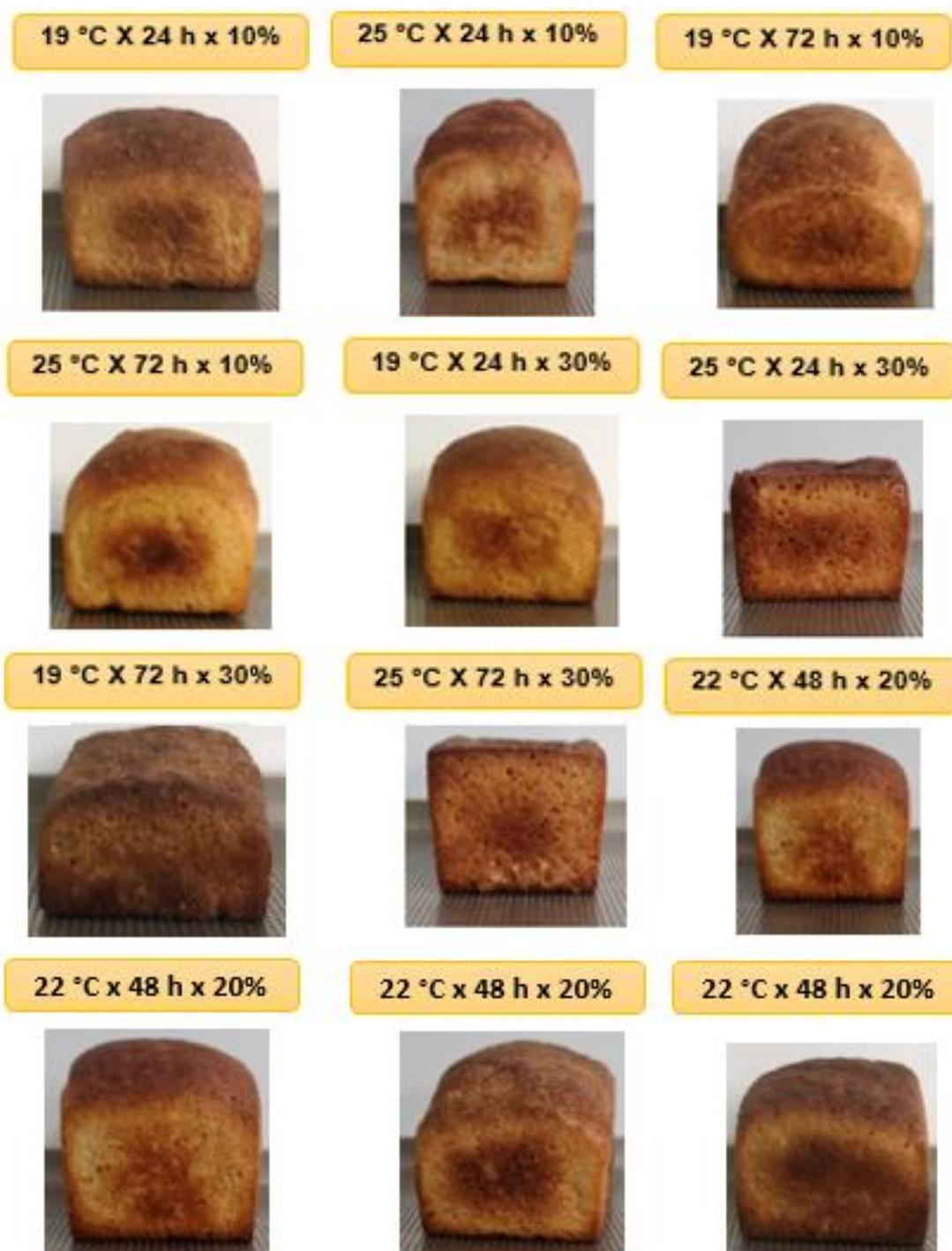
La determinación del volumen específico de cada una de las muestras se realizó por duplicado (Tabla 24) (Figura 22).

**Tabla 24.** Volumen específico de los panes

N° Muestra	Muestra	Peso (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Volumen específico (cm <sup>3</sup> /g)
1	QP1	198.01±0.63 <sup>b</sup>	487.50±10.61 <sup>ab</sup>	2.46±0.05 <sup>c</sup>
2	QP2	206.82±0.67 <sup>d</sup>	632.50±3.54 <sup>f</sup>	3.06±0.01 <sup>g</sup>
3	QP3	205.13±0.04 <sup>c</sup>	530.00±14.14 <sup>c</sup>	2.58±0.07 <sup>d</sup>
4	QP4	216.99±0.30 <sup>h</sup>	652.50±24.75 <sup>f</sup>	3.01±0.11 <sup>g</sup>
5	QP5	214.53±0.07 <sup>ig</sup>	592.50±3.54 <sup>e</sup>	2.76±0.02 <sup>f</sup>
6	QP6	208.56±1.08 <sup>e</sup>	497.50±3.54 <sup>ab</sup>	2.39±0.01 <sup>bc</sup>
7	QP7	217.98±1.70 <sup>h</sup>	482.50±3.54 <sup>a</sup>	2.21±0.01 <sup>a</sup>
8	QP8	205.41±0.41 <sup>cd</sup>	555.00±7.07 <sup>d</sup>	2.70±0.03 <sup>ef</sup>
9	QP9	213.83±0.45 <sup>f</sup>	505.00±7.07 <sup>b</sup>	2.36±0.03 <sup>b</sup>
10	QP10	213.86±0.29 <sup>f</sup>	565.00±7.07 <sup>d</sup>	2.64±0.03 <sup>de</sup>
11	QP11	215.47±0.38 <sup>g</sup>	557.50±3.54 <sup>d</sup>	2.59±0.01 <sup>d</sup>
12	QP12	196.48±0.33 <sup>a</sup>	527.50±10.61 <sup>c</sup>	2.68±0.05 <sup>ef</sup>

Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre las muestras, diferencias significativas al 95%, método Tukey HSD, n=2

Figura 22. Panes obtenidos bajo las condiciones experimentales



Fuente: Elaboración propia

### 3.6.2 Aceptabilidad del pan por parte del consumidor

Los resultados de las evaluaciones sensoriales realizadas por el panel semientrenado fueron tabulados en una hoja de Excel (Anexo 4) y obtenidas sus medianas (Tabla 20). Se obtuvo el puntaje porcentual de la aceptación sensorial de cada uno de los experimentos para el diseño factorial completo (Tabla 25) y para el diseño de superficie de respuesta (Tabla 26). Cabe mencionar que el mayor puntaje para cada atributo en las fichas de cata era de 7 dando como

puntuación total de 105 puntos siendo este el 100% (15 atributos evaluados) y el menor puntaje para cada atributo es 1, por lo tanto, los 15 puntos corresponderían a 0% de puntuación porcentual.

**Tabla 25.** Puntuación del pan con harina de quinua germinada bajo las especificaciones del diseño factorial

N. Exp.	TEMP. (°C)	TIEMPO (h)	% MEZCLA	P. Final	Puntuación acumulada	Puntaje porcentual
1	-1	-1	-1	5	76.5	68.33
2	-1	-1	-1	5	70	61.11
3	+1	-1	-1	6	92	85.56
4	-1	+1	-1	6	85.5	78.33
5	+1	+1	-1	6	85	77.78
6	-1	-1	+1	3.5	49	37.78
7	+1	-1	+1	5	58	47.78
8	-1	+1	+1	3	47	35.56
0	+1	+1	+1	5.5	80	72.22
0	0	0	0	5	73	64.44
0	0	0	0	5	63	53.33
0	0	0	0	5	71.5	62.78

En la Tabla 25 se observa que la muestra de pan que se elaboró con harina de quinua germinada a 19 °C durante 72 h y, con un porcentaje de mezcla del 10% (Exp. 3), presenta un puntaje porcentual de 85.56%. Por otra parte, el pan elaborado con harina de quinua germinada a 25 °C por 72 h y con el 30% de sustitución de harina de quinua tiene un puntaje porcentual de 35.56% (Exp. 8), constituyendo las muestras con los porcentajes más alto y bajo, respectivamente.

Por otra parte, en cuanto al desarrollo del diseño de superficie de respuesta en la optimización del porcentaje de mezcla se obtuvieron los resultados detallados en la Tabla 26. El experimento que se realizó con harina de quinua germinada a 22 °C por 24 h y con un 10% de sustitución tiene un puntaje porcentual de 80.56%, seguido de 19 °C por 24 h y con 30% de sustitución. Por otra parte, el experimento bajo las condiciones de 25 °C por 24 h y con 30% de sustitución tiene un puntaje porcentual de 37.78%.

**Tabla 26.** Puntaje del pan con harina de quinua germinada bajo las especificaciones del diseño de superficie

<b>N. Exp.</b>	<b>TEMP. (°C)</b>	<b>TIEMPO (h)</b>	<b>% MEZCLA</b>	<b>P. Final</b>	<b>Puntuación acumulada</b>	<b>Puntaje porcentual</b>
1	-1	-1	-1	5	76.5	68.33
2	+1	-1	-1	5	70	61.11
5	-1	-1	+1	6	85	77.78
6	+1	-1	+1	3.5	49	37.78
0	0	0	0	5.5	80	72.22
0	0	0	0	5	73	64.44
0	0	0	0	5	63	53.33
0	0	0	0	5	71.5	62.78
1	-1	0	0	5.5	80	72.22
2	+1	-1	0	6	80	72.22
3	0	-1	1	6	81	73.33
4	0	-1	-1	6	87.5	80.56

## CAPÍTULO 4

### DISCUSIÓN

El proceso de germinación de las semillas inicia con la absorción de agua, la cual desencadena una serie de procesos metabólicos al activar las enzimas necesarias para este fin. La quinua es capaz de absorber agua en un porcentaje superior al 90% de su peso (sección 3.1). El porcentaje de humedad de las semillas de quinua después de haber sido sometidas a remojo alcanzó el  $51.79 \pm 0.85\%$ ; mientras que su humedad inicial fue de  $10.85 \pm 0.23\%$ . De acuerdo a Bravo et al (2013) el proceso de crecimiento y desarrollo de la semilla de quinua inicia cuando el grano alcanza entre 40 y 45% de humedad, por lo que las semillas remojadas absorbieron agua suficiente para llevar a cabo los procesos metabólicos requeridos que dan inicio a la germinación.

El tratamiento a 25 °C por 72 h fue el que condujo al mayor porcentaje de semillas de quinua germinadas (72.67%, Tabla 12). Por otro lado, el menor porcentaje de germinación (29.33%) se observó a condiciones de germinación de 19 °C por 24 h. Al ser estas las condiciones que se encuentran en los puntos extremos del diseño experimental, se podría decir que, a mayor tiempo y temperatura de germinación de las semillas de quinua (dentro del rango estudiado), mayor será el porcentaje de semillas germinadas. Así, por ejemplo, a las tres temperaturas experimentales, se observa que al incrementar el tiempo de tratamiento, se incrementa el número de semillas germinadas. Por otra parte, el porcentaje de semillas germinadas aumenta considerablemente al incrementar la temperatura de germinación, especialmente cuando el tratamiento dura 24 o 72 h; interesantemente, después de 48 h de germinación de las semillas de quinua, el efecto de la temperatura no es muy relevante.

El contenido de saponinas por el método espumógeno se realizó por duplicado. La variedad de quinua tunkahuan es conocida por ser dulce (bajo contenido de saponina). El método de la espuma se fundamenta en que a mayor contenido de saponina, mayor formación de espuma es decir, muestras dulces forman espumas de baja altura en el tubo de ensayo. Cabe recordar que este método es sensible a la formación de espumas con alturas entre 0.2 y 3.0 cm. (NTE INEN 1672:1988), sin embargo, no se observó formación de espuma en la muestra sin tratar; pero esto no significa que no contenga saponinas, sino que este método no logra cuantificarlas al encontrarse fuera de su rango de sensibilidad. Por otro lado, las muestras germinadas sí formaron espuma al aplicarse este método. A mayor tiempo de germinación, la altura de la espuma formada es mayor (Tabla 13), mientras que menores tiempos de germinación tienden a generar espumas de menor altura, aunque la muestra germinada a 22 °C por 24 h resultó ser una de las más altas. Por otro lado, la temperatura de germinación en el rango estudiado (19 °C – 25 °C) no influye significativamente la cantidad de espuma formada. De todas formas, la espuma más alta corresponde a la muestra germinada a mayor temperatura, por mayor tiempo ( $1.165 \pm 0.021$  cm de espuma). Entre las muestras

germinadas, la menor cantidad de espuma fue formada por la muestra germinada a 25 °C por 24 h.

La saponina de la quinua sufre un proceso de hidrólisis durante la germinación de una variedad amarga (Titicaca); esta hidrólisis se evidencia en una disminución en la altura de la espuma formada y por la disminución de la capacidad espumógena de la quinua. Además, la germinación es responsable de una hidrólisis proteica y una mayor estabilidad espumógena, que es atribuida a la formación y/o liberación de albúminas y globulinas, ya que la germinación aumenta la biodisponibilidad de los macro y micro nutrientes (Suárez-Estrella et al 2021). Aunque es posible que la espuma que se observa en las muestras germinadas sea debida a la formación y/o a una mayor exposición de proteínas espumógenas, como albúminas y globulinas, esta posibilidad no fue explorada por no ser del alcance de esta tesis.

En cuanto a la determinación del tiempo óptimo de cocción no existe un único método establecido, sin embargo hay varias características medibles que contribuyen a determinarlo. Una de las más difundidas es la medición del tiempo necesario para alcanzar una completa gelatinización del almidón de las semillas, que se verifica porque el núcleo blanco se vuelve más pequeño a medida que avanza la cocción (Wood 2017). El tiempo de cocción óptimo de tres variedades de semillas de quinua (Salcedo INIA, Pasallanka y Negra Collana) fue de 15 min a 86 °C (Valenzuela et al 2017); sin embargo, para la variedad analizada en la presente tesis (tunkahuan), fueron necesarios 17 min de cocción a 92 °C para alcanzar una completa gelatinización, lo cual podría deberse a la presencia de las capas exteriores del grano, las cuales dificultaron la penetración del calor.

En cuanto al análisis sensorial de las semillas cocidas de quinua germinada, las muestras obtenidas a 19 °C y 25 °C luego de 48 h tuvieron un puntaje porcentual del 75.69%, siendo estas las muestras con mayor puntaje en comparación con las demás. Por otra parte, el menor puntaje porcentual se observó en la muestra germinada a 19 °C por 72 h con un 65.97% de puntaje porcentual. Sin embargo, muestras de quinua han sido germinadas por diferentes tiempos a 22 °C, resultando ser la muestra con mejor perfil sensorial aquella germinada por 48 h, luego de una evaluación con lengua electrónica (Suárez-Estrella et al 2019). Esta condición corresponde a las réplicas del punto central del diseño experimental aplicado en el presente estudio y que alcanzan valores cercanos a un 70% del puntaje porcentual de las semillas. Se debe tomar en cuenta también la diferente variedad de quinua utilizada en cada estudio. Además, mientras menor sea el tiempo de germinación y la cantidad de energía necesaria para alcanzar la temperatura óptima, menor será el costo de producción.

Por otra parte, la germinación de las semillas de quinua, con fines de consumo y no reproductivos, se debe realizar en condiciones adecuadas para su desarrollo y, de acuerdo a las características que pueda presentar cada variedad; por ejemplo, para la variedad Titicaca (amarga) se ha demostrado que el tiempo óptimo de germinación a 22 °C, con humedad relativa del 90%, en oscuridad y ventilación continua de 48 h, desde puntos de vista tecnológicos y sensoriales (Suárez-Estrella et al 2020 y 2021). Sin embargo, la optimización

de las condiciones de germinación de las semillas de quinua de este estudio de acuerdo a los resultados de Minitab 2017 (Pensilvania, USA) indicaron que la respuesta óptima de temperatura de germinación se encuentra entre 23.2 (0,8) y 24.4 (0.4) °C con un tiempo de germinación entre 24 (-1) y 37.2 (-0.45) h (Figura 18).

Por otro lado, con la aplicación del diseño factorial para la optimización de pan enriquecido con harina de quinua germinada, se determinó que el tiempo de germinación de las semillas no es relevante para la optimización del pan y, por ende, no afecta en su aceptabilidad por parte del consumidor (Figura 18). Los factores que tienen significancia dentro del estudio son temperatura y porcentaje de sustitución; mientras que ni el tiempo, ni ninguna interacción es significativa. Por lo que se optó por realizar un diseño experimental con nuevos puntos y sin tomar en cuenta el tiempo para la optimización. Aplicando el diseño de superficie para el nuevo estudio, se obtuvo como resultado que el punto óptimo se ubica en el mínimo valor de temperatura y en el máximo valor de porcentaje de sustitución (19 °C, 30%, respectivamente) con un nivel de confianza del 80% (Figura 22).

Los panes elaborados con 10 % de harina de quinua germinada a 25 °C por 24 y 72 h (QP2 y QP4) alcanzan el mayor volumen específico ( $3.06 \pm 0.01$  y  $3.01 \pm 0.11$  cm<sup>3</sup>/g, respectivamente, abla 15), en cambio el pan elaborado con harina de quinua germinada a 19 °C por 72 h y 30 % de sustitución (QP7) presenta menor volumen específico ( $2.21 \pm 0.01$  cm<sup>3</sup>/g). A mayor temperatura de germinación y menor porcentaje de sustitución el volumen específico del pan es mayor. El tiempo de germinación de las semillas no influye significativamente en el volumen específico de las muestras elaboradas con harina de quinua germinada a 25 °C con una sustitución del 10%; sin embargo, el tiempo de germinación sí es relevante cuando la sustitución es del 30%, así, la muestra elaborada con harina de quinua germinada a 25 °C por 72 h y con 30% de sustitución (QP8) tiene mayor volumen específico que la muestra elaborada en las mismas condiciones; pero con quinua germinada por 24 h (QP6). Del mismo modo, en las muestras a 19 °C con 10% de sustitución, el tiempo de germinación también es relevante ya que el volumen específico a 24 y 72 h varía significativamente (QP1 y QP3, respectivamente) y lo mismo ocurre con las muestras a 19 °C y 30% de sustitución, puesto que el volumen específico del pan obtenido con harina de quinua germinada por 24 h (QP5) es mayor que el de 72 h (QP7) ( $2.76 \pm 0.02$  y  $2.21 \pm 0.01$  cm<sup>3</sup>/g, respectivamente). Estudios previos muestran que el pan elaborado con el 20% de sustitución tiene un mayor volumen específico en comparación con panes elaborados con otros porcentajes de sustitución, cuando la quinua ha sido germinada por 48 h a 22 °C, que corresponden a las condiciones centrales del diseño experimental aplicado en el presente estudio. Mientras que el volumen específico del pan reportado en ese estudio es de  $3.61 \pm 0.11$  cm<sup>3</sup>/g (Suárez-Estrella et al 2020); en este estudio se encuentra alrededor de 2.68 cm<sup>3</sup>/g. La diferencia puede ser debida a variedad de quinua utilizada, ya que no se logró determinar la cantidad de azúcares simples liberados durante la germinación, cuestión que deberá ser profundizada en estudios posteriores.

En cuanto a la aceptabilidad del pan con harina de quinua germinada, por parte del consumidor, estudios previos demuestran que es factible adicionar: 6, 10,15 y hasta un 20% de harina de quinua para la elaboración de pan (FAO 2021, Calderelli et al 2010, Salazar et al 2017). En este estudio, la muestra germinada a 22 °C por 24 h y utilizada para hacer el pan con un porcentaje de mezcla del 10% tuvo la mayor puntuación porcentual (80.56%). Por otra parte, el experimento 25 °C por 24 h y 30% de sustitución tuvo una aceptación del 38.78% siendo esta la muestra menos aceptada dentro del estudio Al igual que las semillas, no se tomó en cuenta las ponderaciones asignadas a cada uno de los atributos.

## CONCLUSIONES

La quinua es un pseudocereal considerado como uno de los alimentos más completos debido a su gran aporte nutricional ya que contribuye significativamente con la satisfacción de los requerimientos nutricionales del ser humano. Su consumo ha ido aumentando con el tiempo y, hoy en día, su forma de consumo puede ser variada, ya sea sola o en combinación con otros alimentos, además su preparación puede incluir el lavado, perlatura y/o germinación.

Al inicio del proceso de la germinación, las semillas fueron sometidas a remojo de 12 h, que se demostró suficiente para que el grano alcance el porcentaje de humedad adecuado para llevar a cabo los procesos metabólicos que son requeridos para dar inicio a la germinación. En cuanto al porcentaje de germinación de las semillas de quinua se observó que a mayor tiempo, con temperaturas comprendidas entre 19 y 25 °C, se obtiene un mayor número de semillas germinadas, sin embargo, después de las 48 h de germinación la temperatura no es de gran importancia dentro de este proceso debido a que no hay mayor diferencia en el número de semillas germinadas a las diferentes temperaturas establecidas.

Por otra parte, el contenido de saponinas de las semillas de quinua variedad tunkahuan es bajo. La sensibilidad del método establecido por la norma ecuatoriana NTE INEN 1672:1988 no las logró cuantificar en la muestra sin tratar; sin embargo, a pesar de que las muestras germinadas sí presentaron espuma dentro del rango de evaluación del método, no se puede concluir que sea debido a la presencia de saponinas.

Mediante la utilización del diseño factorial 2<sup>3</sup> se analizaron las condiciones de germinación de las semillas de quinua, variedad Tunkahuan, estableciéndose como variables significativas la temperatura y el tiempo de germinación.

Condiciones de germinación de 19 °C y 25°C por 48 h produjeron el mayor puntaje porcentual de semillas de quinua cocidas y evaluadas por un panel semi entrenado (79.17%); sin embargo, la optimización demostró que el rango óptimo de temperatura de germinación está entre los 23.2 °C y 24.4 °C, mientras que el tiempo óptimo de germinación está entre las 24 y 37.2 h.

Para la optimización del pan, se determinó que la variable tiempo de germinación de las semillas no es significativa, por lo que la optimización se realizó en función de la temperatura de germinación y del porcentaje de sustitución. Las condiciones óptimas determinadas por el diseño corresponden a 19 °C de temperatura de germinación y 30% de sustitución, con un 80% de nivel de confianza.

El volumen específico del pan disminuye a medida que aumenta el porcentaje de sustitución, seguramente debido al debilitamiento de la malla glutínica, generado por la utilización de una harina sin gluten, como es la obtenida a partir de quinua.

La aceptabilidad de las semillas germinadas de quinua y de productos derivados de ellas depende de las condiciones de germinación, además su correcto uso en la elaboración de los productos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abugoch, J. "Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties. Advances in food and Nutrition." *Advances in Food and Nutrition Research* (2009) 58: 1-31.
- Ahumada, A., Ortega, A., Chito, D. y Benítez, R. "Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): un subproducto con alto potencial biológico." *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas* (2016): 438-469.
- ALIMENTARIUS, CODEX. *Norma para la quinua*. (2019). <[https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B333-2019%252FCXS\\_333s.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B333-2019%252FCXS_333s.pdf)>.
- Arapa, P. y C. Padrón. "Determinación de características físicas en semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) mediante procesamiento digital de imágenes ." *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* (2014): 148-165.
- Arenas, L. y A. Heredia. "Calidad y germinación de semillas de quinua *Chenopodium quinoa* willd. almacenadas artesanalmente por productores." Bogotá: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, (2017).
- Ayala, F. "Desarrollo de estrategias de posicionamiento. Caso: Producto Quinoa." *Perspectivas* (2013): 39-60.
- Bergesse, A., Miranda-Villa, P., Mufari, J., Albrecht, C. y Cervilla, N. "Evaluación de las condiciones de desamargado en húmedo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)." *Nutrición clínica y dietética Hospitalaria* (2019): 1-8.
- Bois, J., Lhomme, J., Raillaud, J. y Rocheteau, A. "Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing." *European Journal of Agronomy* (2006):1-31.
- Bravo, M., Reyna, J., Gómez-Sánchez, I., Huapaya, M. "Estudio químico y nutricional de granos andinos: Germinados de quinua (*Chenopodium quinoa*) y kiwicha (*Amarantus caudatus*)." *Revista de investigación UNMSM* (2013): 54-60.
- Cachi, P. "Diseño factorial multinivel". Scribd. (2018): 1-6.
- Casas, N., Corte, S., Moncayo-Martínez, D. y González, G. "Usos potenciales de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en la industria alimentaria." *ResearchGate* (2016): 1-22.
- "Control de temperatura Autonics TCN4S-24R." Exhibir, 30 de agosto del 2021, <https://exhibirequipos.com/producto/control-temperatura-autonics-tcn4s-24r/>.
- Costa, F., Yendo, A., Fleck, J., Gosman, G. y Fett-neto, G. "Immunoadjuvant and anti-inflammatory." *Journal Medicinal Chemistry* (2011): 857-880.
- Croci, T., A., Pagani, M. Marti and D. Suárez-Estrella. "Effetti del processo di germinazione sulle caratteristiche." *Universidad de Milán. Convegno AISTEC* (2017): 1-55.
- D., Corzo. "Análisis y selección de diferentes métodos para eliminar las saponinas en dos variedades de *Chenopodium quinoa* Willd." *Jardín Botánico de Bogotá* (2016): 1-10.
- FAO. "Historia de la Quinoa." (2020). <<http://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinoa/produccion-sostenible/en/http://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinoa/produccion-sostenible/en/>>.
- García, D. "Desarrollo de un producto de panadería con harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)." (2011): <<http://bdigital.unal.edu.co/4223/1/107475.2011.pdf>>.

- Gómez, A., Ceballos, I., Ruíz, E., Rodríguez, P., Valero, T. y Ávila, J. "Datos actuales sobre las propiedades nutricionales de la quinua." *Fundación española de la nutrición* (2017): 1-36.
- Gómez, L. y E. Aguilar. "Guía de cultivo de la quinua". Ed. FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina. Segunda. Lima, (2016). <<http://www.fao.org/3/i5374s/i5374s.pdf>>.
- Gutierrez, H., De la Vara, R. "Análisis y diseño de experimentos". *McGraw-Hill* (2012):163-489.
- Haug, W. y Lantsch, H. "Sensitive method for the rapid determination of phytic acid in cereals and cereals products." *Journal of the Science of Food and Agriculture* (1983): 1423-1426.
- Hernández, J. "La quinua, una opción para la nutrición del paciente con diabetes mellitus." *Revista Cubana de Endocrinología 2015* (2015): 304-312.
- Hernández, M. "Inhibidores de la germinación como agentes frenantes." Madrid: Universidad Complutense de Madrid, (2015): 1-210.
- Hernández-Ledesma, B. "Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) as a source of nutrients and bioactive compounds: a review." *Bioactive Compounds in Health and Disease 2019* (2019): 1-21.
- Hevia, F., Wilckens, R., Berti, M., Badilla, R. "Características del almidón y contenido de proteína de quinua (*Chenopodium quinoa* w.) Cultivada bajo diferentes niveles de nitrógeno en Chillán". *Universidad Austral de Chile* (2001): 1-11.
- INEN. *Quinoa. Determinación del contenido de saponinas por medio del método espumoso (método de rutina)*. (1988). <<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1672-1R.pdf>>.
- International, Bioersivity, FAO, PROINPA, INIAF Y FIDA. *Descriptorios para quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y sus parientes silvestres*. Roma, La Paz: Bioersivity International y FAO, (2013). <978-92-9043-927-1>.
- "Interruptor Automático EasyPact CVS100F TMD40 Regulable 28-40 A 3P3D." Schneider electric, 30 de agosto de 2021, <https://www.se.com/co/es/product/LV510333/interruptor-autom%C3%A1tico-easypact-cvs100f-tmd40-regulable-2840-a-3p3d/>
- Jacobsen, S., A. Mujica y C. Jensen. "The Resistance of Quinoa (*Chenopodium quinoa*Willd.) to Adverse Abiotic Factors." *Food reviews international* (2003): 99-109.
- Jancurová, M., L. Minarovičová y A. Dandár. "Quinoa – a Review." *Czech J. Food Sci.* (2009): 1-9.
- Larmond, E. "Laboratory methods for sensory evaluation of food." *Research Branch, Canada Dept. of Agriculture*, (1997). <0662012712>.
- Leyva, M. "Caracterización reológica y de tamaño de partícula de harinas de maíz, gluten de maíz, trigo, soya y arroz utilizadas en la industria de alimentos extruidos." Ed. Universidad de los Andes. Bogotá, (2009): 1-52.
- Maldonado, C., Pujado, E. y Squeo, F. "El efecto de la disponibilidad de agua durante el crecimiento de agua durante el crecimiento de de semillas para germinar a distintas temperaturas y concentraciones de manitol y NaCl." *Revista Chilena de historia Natural* (2002): 1-4.

- Marca, S., Chauca, W., Quispe, J. y Mamani, V. "Comportamiento actual omportamiento actual de los agentes de la cadena productiva de quinua en la región Puno." Puno: Roy Wiley Anahua Mamani, (2011): 1-82.
- Meyhuay, M. "Quinua: Operaciones de Poscosecha." Ed. Beverly Lewis (idioma y estilo) Danilo Mejia (parte técnica). AGSI/FAO, (2013): 1-36.
- Minitab Support. "Qué son los diseños de superficie de respuesta, los diseños centrales compuestos y los diseños de Box-Behnken". Página web visitada el 31 de enero del 2022.
- Montgomery, D. "Diseño y analisis de experimentos. 2." Arizona: *Limusa wiley*, (2005): 1-286.
- Muñoz, A. "Año internacional de la quinua." *Scielo Perú* (2013): 1-1.
- Nieto, C. y C. Vimos. "La quinua, cosecha y poscosecha. Algunas experiencias en Ecuador." Ed. Estación Experimental Santa Catalina INIAP. (1992): 1-35.
- Olarte-Calsina, S., C. Olarte-Daza y G. Schultz. "La Quinua en el contexto de la estandarización." Vol. 22. (2016): 1-7.
- Padrón, C., R. Oropeza y A. Montes. "Semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow): composición química y procesamiento. Aspectos relacionados con otras áreas." *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* (2015): 1-15.
- Pajarito, J. "Obtención y caracterización de la harina integral de quinoa orgánica." Santiago, (2005): 1-45.
- Paulsen, G. y A. Auld. "Preharvest Sprouting of cereals." Benech-Arnold, R. and R. Sánchez. *Handbook of Seed Physiology Applications to Agriculture*. New York, London: The Haworth Reference Press Imprints of The Haworth Press, Inc., (2004): 1-500.
- Pinto, M. "El cultivo en la quinua y el clima en el Ecuador ." *Estudios e Investigaciones Meteorológicas INAMHI - Ecuador*. Quito, (2013): 1-6.
- PROINPA. "La quinua, cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial." (2011): 1-66.
- Romo, S., Rosero, A., Forero, C. y Ceron, E. "Potencial nutricional de quinua Variedad piatral en los andes colombianos." *Universidad del Cauca* (2006): 1-14.
- Ruales, J. y M. Nair. "Nutritional quality of the protein in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds." *Plant Foods for Human Nutrition* 42 (1992): 1-11.
- Sánchez, I. "Maíz ." *REDUCA* (2014): 151-171.
- Shunta-Ronquillo, J. "Optimización del desaponificado de la quinua para la elaboración de productos derivados mediante implementación de una máquina escarificadora en la empresa ASOALIENU." Riobamba, (2018): 1-115.
- Suárez-Estrella, D., Borgonovo, G., Buratti, S., Ferranti, P., Accardo, F., Pagani, M. y Marti, A. "Sprouting of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Effect on saponin content and relation to the taste and astringency assessed by electronic tongue." *ELSEVIER LWT-Food Science and Technology* (2021): 1-7.
- Suárez-Estrella, D., Cardone, G., Buratti, S., Pagani, M. y Marti, A. "Sprouting as a pre-processing for producing quinoa-enriched bread." *ELSEVIER. Journal of Cereal Science* (2020): 1-7.
- Suárez-Estrella, D., M. Pagani y F. Bonomi. "Germination as a bio-technological process to enhance the use of quinoa (*chenopodium quinoa* willd.) In cereal-based products." *Universidad de Milán* (2019): 1-116.

- Tapia, M. "La quinua y la kañiwa Cultivos andinos". Bogotá: Oficina Regional para la América Latina, Bogotá, (1979): 1-232.
- Teomiro, E. "El "boom" de la quinoa." *Universidad de Navarra* (2018): 1-2.
- Toapanta, M. "Caracterización de aislados proteicos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y su digestibilidad gástrica y duodenal (in vitro)." Ambato: Universidad técnica de Ambato, Abril (2016): 1-112.
- Torres, H. y I. Minaya. "Escarificadora de quinua: Diseño y construcción ( en línea)." Lima: IICA Biblioteca Venezuela, 1980, (1998): 1-27.
- Valderrama, M. "Aplicaciones de la semilla germinada de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en la mejora Nutricional de los preparados Alimentarios." Trujillo, (2017): 1-33.
- Valencia-Chamorro, S. "Quinoa." *Elsevier of food Sciences and Nutrition*. (2003): 1-8.
- Valenzuela, R., Mta, G., Zapanga, F., Quilla, D., Miranda, R. y Mita, U. "Efecto de la germinación y cocción en las propiedades nutricionales de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)." *Revista de Investigación Altoandina* (2015): 1-4.
- Vega, O, R. De-Marco y C. Di-Risio. "Propiedades físicas y sensoriales de un pan fresco con la adición de enzimas." *EIA* (2015): 1-14.
- Wood, J. "Evaluation of Cooking Time in Pulses: A Review." (2017): 1-17.
- Wu, G., Ross, C., Morris, C. y Murphy, M. "Lexicon Development, Consumer Acceptance and Drivers of Liking of Quinoa Varieties." *Institute of Food Technologists* (2017): 1-14.
- Zambrano, P., Cruz, R. y Arteaga, L. "Análisis bibliográfico sobre el potencial nutricional de la quinua (*Chenopodium Quinoa*) como alimento funcional." *Scielo* (2019): 1-12.
- Zevallos, H., Ellis, J., Suligoj, T., Herencia, L. y Ciclitira, P. "Variable activation of immune response by quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) prolamins in celiac disease." *The American Journal of Clinical Nutrition* (2012): 337-344.

## ANEXOS

## Anexo 1: Ficha de cata de las semillas de quinua germinadas y cocidas

Ficha de catación-sensorial para semillas de quinua.							
Agradezco su ayuda para realizar la degustación de semillas de quinua. Por favor, en el orden que se solicite deguste las muestras y marque con una (x) de acuerdo a una alternativa de cada característica indicada. Por consiguiente, le pedimos su cooperación contestando la siguiente encuesta con absoluta seriedad.							
- Tómese el tiempo necesario para evaluar cada parámetro.							
Muestra						Fecha	
Seleccione una opción del 1 al 7 cada atributo, de acuerdo a lo indicado en la tabla de la escala hedónica (siendo "1" la valoración más baja y "7" la valoración más alta)							
Escala hedónica							
	1	2	3	4	5	6	7
Características	Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta poco	No me gusta ni me disgusta	Me gusta poco	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho
Visual							
	1	2	3	4	5	6	7
Aspecto							
Olfativo							
	1	2	3	4	5	6	7
Intensidad							
Aroma							
Gustativo							
	1	2	3	4	5	6	7
Gomosidad							
Suavidad							
Acidez							
Dulzor							
Amargor							
Astringencia							
Regusto							
Gusto							
Impresión global de la semilla							
	1	2	3	4	5	6	7
Aceptabilidad general							

**Anexo 2.** Indicaciones de la ficha de cata para semillas de quinua germinada**Instrucciones para la ficha de catación-sensorial para semillas de quinua**

Lea detenidamente las instrucciones en caso de ser necesario acerca de cada uno de los parámetros a evaluar en la ficha de catación. De acuerdo a cada uno de los niveles en la escala hedónica, seleccione una opción del 1 al 7 cada atributo, siendo "1" la puntuación más baja y "7" la puntuación más alta.

**Para el atributo visual considere lo siguiente:**

- **Aspecto:** De acuerdo a su criterio marque si le gusta o disgusta el aspecto global de la semilla.

**Para el atributo olfativo.**

- **Intensidad:** Marque de acuerdo a los niveles indicados, si la intensidad del aroma de la semilla le gusta o le disgusta
- **Aroma:** De acuerdo a su criterio marque si le gusta o disgusta el aroma de la semilla.

**Para el atributo gustativo:**

- **Gomosidad, suavidad, acidez, dulzor y amargor:** Marque de acuerdo a los niveles indicados, si le gusta o le disgusta.

**Nota:** Para realizar la valoración del parámetro regusto, tómese unos momentos luego de la ingesta de las semillas.

- **Regusto:** Ingiera una cantidad de semillas y después de esperar el tiempo indicado, marque de acuerdo a su criterio si le gusta o le disgusta.
- **Gusto:** Indique si le gusta o le disgusta el gusto global de las semillas.

**Anexo 3:** Ficha de cata para pan con harina de quinua germinada

Ficha de catación-sensorial para pan con harina de quinua.							
Agradezco su ayuda para realizar la degustación de pan con harina de quinua. Por favor, en el orden que se solicite deguste las muestras y marque con una (x) de acuerdo a una alternativa de cada característica indicada. Por consiguiente, le pedimos su cooperación contestando la siguiente encuesta con absoluta seriedad.							
- Tómese el tiempo necesario para evaluar cada parámetro.							
Muestra						Fecha	
Seleccione una opción del 1 al 7 cada atributo, de acuerdo a lo indicado en la tabla de la escala hedónica (siendo "1" la valoración más baja y "7" la valoración más alta)							
Escala hedónica							
Características	1	2	3	4	5	6	7
	Me disgusta mucho	Me disgusta moderadamente	Me disgusta poco	No me gusta ni me disgusta	Me gusta poco	Me gusta moderadamente	Me gusta mucho
Visual							
	1	2	3	4	5	6	7
Color de la miga							
Alveolatura							
Aspecto							
Olfativo							
	1	2	3	4	5	6	7
Intensidad							
Aroma							
Textura							
	1	2	3	4	5	6	7
Firmeza corteza							
Firmeza miga							
Granulosidad							
Gustativo							
	1	2	3	4	5	6	7
Homogeneidad							
Acidez							
Dulzor							
Amargor							
Regusto							
Gusto							
Impresión global del pan							
	1	2	3	4	5	6	7
Aceptabilidad general							

**Anexo 4: Instrucciones de la ficha de cata para pan con harina de quinua germinada**  
**Instrucciones para la ficha de catación-sensorial para pan con harina de quinua**

Lea detenidamente las instrucciones en caso de ser necesario acerca de cada uno de los parámetros a evaluar en la ficha de catación, para ello tome en cuenta las características del pan "SUPAN" y compare con el pan muestra. De acuerdo a cada uno de los niveles en la escala hedónica, seleccione una opción del 1 al 7 cada atributo, siendo "1" la puntuación más baja y "7" la puntuación más alta.

Para el atributo visual considere lo siguiente:

- **Color de la miga:** Se evalúa la parte interior de la rodaja, de acuerdo a su criterio marque cuanto le gusta o disgusta.
- **Aleveolatura:** Se produce durante el proceso de fermentación del pan, en el cual se produce CO<sub>2</sub> y etanol, este gas queda atrapado dentro de la masa creando agujeros asimétricos, es decir, los alvéolos.
- **Aspecto:** De acuerdo a su criterio marque si le gusta o disgusta el aspecto global del pan.

Para el atributo olfativo.

- **Intensidad:** Marque de acuerdo a los niveles indicados, si la intensidad del aroma del pan le gusta o le disgusta
- **Aroma:** De acuerdo a su criterio marque si le gusta o disgusta el aroma del pan.

Para el atributo textura:

- **Firmeza de la corteza:** Presione ligeramente desde la parte superior de la rodaja y valore si le gusta o no le gusta.
- **Firmeza de la miga:** Sobre el plato presione la zona central de la rebanada del pan y valore de acuerdo a su criterio.
- **Granulosidad:** Pase de dos a tres veces su dedo sobre la superficie de la rodaja del pan y vea si se desase con facilidad la miga y valore de acuerdo a su criterio.

Para el atributo gustativo:

**Nota:** Para la evaluación de este atributo, tome solamente la parte central de la rebanada de pan.

- **Gomosidad, acidez, dulzor y amargor:** Marque de acuerdo a los niveles indicados, si le gusta o le disgusta.

**Nota:** Para realizar la valoración del parámetro regusto, tómese 3 minutos posteriores a la ingesta del pan.

- **Regusto:** Ingiera un pedazo de pan y después de esperar el tiempo indicado, marque de acuerdo a su criterio si le gusta o le disgusta.
- **Gusto:** Indique si le gusta o le disgusta el gusto global del pan.

**Anexo 5:** Tabulación del análisis sensorial de cada experimento de las semillas germinadas de quinua

Muestra	QS1													
	Visual	Olfativo		Gustativo								Impresión global	Sumatoria total	
Panelista	Aspecto	Intensidad	Aroma	Gomosidad	Suavidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Astringencia	Regusto	Gusto	P. Final		
P1	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	46	
P2	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	71	
P3	6	7	7	5	3	6	6	6	5	6	6	6	69	
P4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	48	
P5	5	6	6	5	6	5	5	6	6	5	6	6	67	
P6	3	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	3	40	
P7	6	5	5	6	6	6	6	6	5	5	5	5	66	
P8	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	63	
P9	5	7	7	7	6	6	5	7	5	7	7	6	75	
P10	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	59	
Mediana	5	5.5	5	5	5	5	5	5.5	5	5	5	5	64.5	

Muestra	QS2													
	Visual	Olfativo		Gustativo								Impresión global	Sumatoria total	
Panelista	Aspecto	Intensidad	Aroma	Gomosidad	Suavidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Astringencia	Regusto	Gusto	P. Final		
P1	6	7	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	77	
P2	5	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	4	51	
P3	7	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	82	
P4	6	6	6	5	6	5	5	5	5	6	6	6	67	
P5	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	6	68	
P6	4	4	4	4	5	3	4	4	3	4	4	5	48	
P7	5	4	4	6	5	5	6	6	3	5	5	6	60	
P8	3	6	6	5	5	6	5	6	5	6	7	6	66	
P9	6	3	3	5	5	5	5	6	6	5	5	5	59	
P10	7	7	7	6	5	4	4	4	4	4	5	5	62	
Mediana	6	6	6	5.5	5	5	5	5.5	5	5	5	6	64	

Muestra													
QS3													
	Visual	Olfativo		Gustativo								Impresión global	Sumatoria total
Panelista	Aspecto	Intensidad	Aroma	Gomosidad	Suavidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Astringencia	Regusto	Gusto	P. Final	
P1	5	7	7	7	7	5	6	7	7	7	7	7	79
P2	4	3	2	4	5	3	3	3	6	4	4	5	46
P3	3	6	6	6	6	6	6	6	4	6	6	6	67
P4	4	4	4	6	5	6	6	5	6	6	6	5	63
P5	2	5	5	3	3	3	2	2	2	3	3	3	36
P6	4	5	5	4	3	4	4	5	4	4	4	4	50
P7	5	7	7	6	5	5	5	5	4	4	4	4	61
P8	4	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52
P9	4	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	58
P10	4	6	6	6	6	5	6	4	5	6	5	5	64
<b>Mediana</b>	<b>4</b>	<b>5.5</b>	<b>5.5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4.5</b>	<b>4.5</b>	<b>4.5</b>	<b>5</b>	<b>59.5</b>

Muestra													
QS4													
	Visual	Olfativo		Gustativo								Impresión global	Sumatoria total
Panelista	Aspecto	Intensidad	Aroma	Gomosidad	Suavidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Astringencia	Regusto	Gusto	P. Final	
P1	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	71
P2	5	5	6	5	5	5	6	6	5	6	6	6	66
P3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	59
P4	4	4	3	4	5	4	4	4	3	4	4	4	47
P5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	61
P6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	5	5	5	64
P7	5	6	6	5	5	5	5	5	5	6	6	5	64
P8	6	4	4	6	5	6	6	5	4	6	6	6	64
P9	5	7	7	6	6	7	7	7	7	7	7	7	80
P10	6	6	6	7	5	2	4	3	3	5	5	6	58
<b>Mediana</b>	<b>5</b>	<b>5.5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5.5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5.5</b>	<b>5.5</b>	<b>5.5</b>	<b>64</b>



Muestra													
QS7													
	Visual	Olfativo		Gustativo								Impresión global	Sumatoria total
Panelista	Aspecto	Intensidad	Aroma	Gomosidad	Suavidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Astringencia	Regusto	Gusto	P. Final	
P1	5	3	3	6	5	5	5	6	4	5	5	5	57
P2	5	7	7	6	6	6	6	6	6	7	7	6	75
P3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	72
P4	6	4	4	4	5	2	3	3	4	4	4	4	47
P5	5	6	7	7	5	6	6	6	5	6	6	6	71
P6	5	5	5	6	6	6	6	5	6	6	6	6	68
P7	7	6	6	7	7	6	7	6	6	7	7	7	79
P8	4	4	4	4	3	4	4	3	3	4	4	4	45
P9	6	6	6	4	4	5	5	5	5	5	5	5	61
P10	4	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	50
<b>Mediana</b>	5	5.5	5.5	6	5	5.5	5.5	5.5	5	5.5	5.5	5.5	64.5

Muestra													
QS8													
	Visual	Olfativo		Gustativo								Impresión global	Sumatoria total
Panelista	Aspecto	Intensidad	Aroma	Gomosidad	Suavidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Astringencia	Regusto	Gusto	P. Final	
P1	5	4	5	4	5	7	5	7	5	4	7	6	64
P2	6	6	6	5	5	4	4	6	6	7	7	6	68
P3	5	6	6	6	6	6	6	6	4	6	6	6	69
P4	6	6	6	7	5	4	5	4	5	4	5	5	62
P5	4	3	2	4	5	3	4	3	5	4	4	5	46
P6	1	5	5	2	2	3	3	4	3	3	3	3	37
P7	6	6	7	6	7	6	6	7	6	7	7	6	77
P8	6	6	6	5	5	5	5	5	4	5	5	5	62
P9	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	61
P10	6	3	3	5	4	4	5	4	4	3	4	4	49
<b>Mediana</b>	6	5.5	5.5	5	5	4.5	5	5	5	4.5	5	5	62



Muestra	QS11												
	Visual	Olfativo		Gustativo								Impresión global	Sumatoria total
Panelista	Aspecto	Intensidad	Aroma	Gomosidad	Suavidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Astringencia	Regusto	Gusto	P. Final	
P1	4	2	2	4	5	3	3	2	6	5	5	5	46
P2	7	7	7	7	6	6	6	6	5	5	6	6	74
P3	6	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	7	82
P4	6	7	7	6	6	6	6	6	4	7	7	6	74
P5	3	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	57
P6	4	5	4	5	6	5	5	4	6	4	4	5	57
P7	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	5	6	70
P8	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	70
P9	5	3	3	5	6	5	5	6	4	6	7	5	60
P10	5	6	6	6	5	5	5	4	5	5	6	5	63
<b>Mediana</b>	5.5	5.5	5.5	6	6	5.5	5.5	6	5	5.5	6	5.5	66.5

Muestra	QS12												
	Visual	Olfativo		Gustativo								Impresión global	Sumatoria total
Panelista	Aspecto	Intensidad	Aroma	Gomosidad	Suavidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Astringencia	Regusto	Gusto	P. Final	
P1	5	5	5	4	4	4	3	3	4	4	4	4	49
P2	6	6	5	6	5	6	6	5	5	6	6	6	68
P3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	47
P4	4	4	3	4	5	4	4	4	4	4	4	4	48
P5	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	70
P6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	63
P7	6	6	6	5	6	6	6	5	6	6	6	6	70
P8	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	68
P9	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	6	71
P10	6	6	6	7	5	6	5	5	4	4	5	6	65
<b>Mediana</b>	6	5.5	5	5	5	6	5.5	5	5	5.5	5.5	6	66.5

**Anexo 6:** Tabulación del análisis sensorial de cada experimento de pan con harina germinada de quinua

Muestra																
QP1																
Panelista	Visual			Olfativo		Textura			Gustativo						Impresión global	Sumatoria total
	Color Miga	Alveolatura	Aspecto	Intensidad	Aroma	Firmeza Corteza	Firmeza Miga	Granulosidad	Gomosidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Regusto	Gusto	P. Final	
P1	6	6	6	4	5	5	6	6	5	6	5	5	5	6	6	82
P2	4	5	6	5	4	6	3	2	6	6	5	6	6	6	5	75
P3	4	5	4	4	4	5	6	5	4	4	3	3	3	4	4	62
P4	5	5	5	6	6	6	5	5	4	5	5	5	5	5	6	78
P5	3	5	5	3	3	5	6	4	3	5	5	4	5	5	5	66
P6	5	5	5	6	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	5	84
P7	5	5	6	6	5	6	6	5	4	4	5	4	4	5	5	75
P8	4	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	7	7	6	6	88
P9	7	6	7	7	7	6	6	7	7	5	5	7	6	7	7	97
P10	5	4	5	4	3	3	5	3	5	2	4	2	6	5	4	60
Mediana	5	5	5.5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5.5	5.5	5	76.5

Muestra																
QP2																
Panelista	Visual			Olfativo		Textura			Gustativo						Impresión global	Sumatoria total
	Color Miga	Alveolatura	Aspecto	Intensidad	Aroma	Firmeza Corteza	Firmeza Miga	Granulosidad	Gomosidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Regusto	Gusto	P. Final	
P1	6	5	5	5	5	4	4	4	3	5	4	5	6	5	5	71
P2	7	6	7	6	6	3	6	6	6	6	4	6	6	6	6	81
P3	5	4	5	6	4	6	6	3	5	2	3	2	1	6	6	64
P4	7	4	5	4	5	6	6	5	4	4	4	3	3	5	6	71
P5	4	3	4	4	4	5	4	5	4	5	5	4	4	4	4	63
P6	6	6	7	4	4	5	3	6	5	4	4	3	3	4	5	69
P7	5	6	7	7	7	5	5	6	5	4	4	4	4	3	5	77
P8	5	5	5	6	6	4	5	4	5	6	6	6	6	6	6	81
P9	5	4	4	4	5	5	6	5	4	3	2	2	4	5	5	63
P10	6	2	4	5	3	0	6	6	4	4	5	4	3	5	5	62
Mediana	5.5	4.5	5	5	5	5	5.5	5	4.5	4	4	4	4	5	5	70

Muestra		QP3																	
Panelista	Visual			Olfativo		Textura			Gustativo						Impresión global	Sumatoria total			
	Color Miga	Alveolatura	Aspecto	Intensidad	Aroma	Firmeza Corteza	Firmeza Miga	Granulosidad	Gomosidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Regusto	Gusto	P. Final				
P1	5	5	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	66			
P2	6	5	6	7	7	6	6	5	6	6	7	6	7	7	7	94			
P3	7	7	7	7	7	7	6	6	6	7	7	7	7	7	7	102			
P4	7	7	7	6	6	7	7	7	4	6	6	6	6	7	6	95			
P5	6	6	6	6	6	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	99			
P6	7	7	7	4	3	7	7	7	2	3	3	3	3	4	4	71			
P7	5	4	5	5	5	5	5	5	3	4	4	3	5	5	5	68			
P8	7	7	7	6	6	5	7	7	7	7	7	7	7	4	7	95			
P9	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	7	6	6	87			
P10	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	90			
Mediana	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	92			

Muestra		QP4																	
Panelista	Visual			Olfativo		Textura			Gustativo						Impresión global	Sumatoria total			
	Color Miga	Alveolatura	Aspecto	Intensidad	Aroma	Firmeza Corteza	Firmeza Miga	Granulosidad	Gomosidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Regusto	Gusto	P. Final				
P1	7	7	7	6	6	6	6	6	4	6	6	6	6	6	6	91			
P2	7	6	7	7	7	6	7	7	6	6	6	6	7	7	7	99			
P3	7	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	89			
P4	6	4	5	4	4	4	4	4	3	3	3	4	3	1	3	55			
P5	6	6	6	6	6	5	6	5	5	6	5	5	5	5	5	82			
P6	6	6	6	6	6	5	6	6	5	3	4	3	2	2	2	66			
P7	7	6	7	6	7	5	6	7	7	7	7	6	6	7	7	98			
P8	7	5	6	4	4	5	5	5	5	5	4	5	3	4	4	71			
P9	7	6	7	5	6	7	7	7	5	7	7	7	6	6	6	96			
P10	6	6	6	6	4	5	6	6	7	4	4	4	4	5	6	79			
Mediana	7	6	6	6	6	5	6	6	5	6	5.5	5.5	5.5	5.5	6	85.5			

Muestra		QP5																
Panelista	Visual			Olfativo		Textura			Gustativo						Impresión global	Sumatoria total		
	Color Miga	Alveolatura	Aspecto	Intensidad	Aroma	Firmeza Corteza	Firmeza Miga	Granulosidad	Gomosidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Regusto	Gusto	P. Final			
P1	7	7	7	7	7	7	5	6	6	6	6	6	6	7	7	7	97	
P2	7	7	7	6	6	5	6	5	4	5	4	3	4	5	5	5	79	
P3	6	5	6	4	4	5	5	5	4	4	5	5	4	5	6	73		
P4	3	4	4	6	6	5	6	7	6	6	6	6	6	7	7	85		
P5	7	7	7	6	6	7	7	7	7	7	5	7	7	7	7	101		
P6	7	5	5	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	91		
P7	4	4	5	5	5	5	4	3	2	3	3	3	3	2	4	55		
P8	7	7	7	5	7	4	6	7	7	4	6	6	5	7	7	92		
P9	6	5	6	5	4	6	6	6	6	6	6	6	4	7	6	85		
P10	6	6	6	4	5	5	5	6	4	5	5	4	6	6	6	79		
Mediana	6.5	5.5	6	5.5	6	5	6	6	6	5.5	5.5	6	5.5	6.5	6	85		

Muestra		QP6																
Panelista	Visual			Olfativo		Textura			Gustativo						Impresión global	Sumatoria total		
	Color Miga	Alveolatura	Aspecto	Intensidad	Aroma	Firmeza Corteza	Firmeza Miga	Granulosidad	Gomosidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Regusto	Gusto	P. Final			
P1	1	3	1	2	2	1	2	2	2	3	5	4	2	2	2	34		
P2	2	3	4	6	3	5	4	3	3	2	2	4	3	4	4	52		
P3	3	6	5	7	6	3	6	6	7	5	5	5	6	6	6	82		
P4	4	4	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	43		
P5	3	3	3	5	5	2	3	3	2	3	2	2	2	2	3	43		
P6	5	5	5	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4	4	75		
P7	3	4	3	3	3	4	4	2	3	2	4	2	2	2	2	43		
P8	3	4	4	2	2	4	2	4	5	4	4	5	5	5	4	57		
P9	3	5	3	3	4	1	3	3	4	3	3	3	2	3	3	46		
P10	6	6	6	5	5	4	4	5	4	3	3	2	5	5	6	69		
Mediana	3	4	3.5	4	3.5	3.5	3.5	3	3.5	3	3.5	3.5	2.5	3.5	3.5	49		

Muestra		QP7																
Panelista	Visual			Olfativo		Textura			Gustativo						Impresión global	Sumatoria total		
	Color Miga	Alveolatura	Aspecto	Intensidad	Aroma	Firmeza Corteza	Firmeza Miga	Granulosidad	Gomosidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Regusto	Gusto	P. Final			
P1	6	5	7	5	7	5	6	6	6	4	7	3	7	4	5	83		
P2	3	2	3	4	4	5	3	3	4	4	4	5	5	4	5	58		
P3	2	3	3	2	2	4	3	4	4	3	3	4	6	5	5	53		
P4	1	1	1	2	2	1	1	1	4	1	1	1	1	1	2	21		
P5	2	5	3	6	4	5	5	6	3	3	2	4	4	5	5	62		
P6	5	7	7	6	4	5	6	7	7	5	4	4	6	6	6	85		
P7	3	3	3	4	4	5	5	2	1	5	5	5	4	5	3	57		
P8	4	3	4	4	4	4	3	3	3	4	4	3	3	3	3	52		
P9	4	3	4	4	3	5	5	4	5	5	7	7	7	5	6	74		
P10	2	2	2	4	4	5	3	4	5	4	4	4	5	5	5	58		
Mediana	3	3	3	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	5	5	58		

Muestra		QP8																
Panelista	Visual			Olfativo		Textura			Gustativo						Impresión global	Sumatoria total		
	Color Miga	Alveolatura	Aspecto	Intensidad	Aroma	Firmeza Corteza	Firmeza Miga	Granulosidad	Gomosidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Regusto	Gusto	P. Final			
P1	4	4	3	4	4	6	6	6	6	6	3	3	3	3	3	64		
P2	5	4	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3	2	3	4	53		
P3	3	4	3	3	6	5	7	6	6	3	3	3	4	4	3	63		
P4	1	3	1	2	2	4	3	2	2	1	3	2	5	1	2	34		
P5	2	1	3	6	3	5	5	2	3	1	3	2	1	3	4	44		
P6	2	1	3	5	5	3	3	6	1	2	2	6	1	2	3	45		
P7	2	2	2	4	4	3	4	4	3	2	3	3	2	2	3	43		
P8	4	4	3	3	3	5	4	4	3	3	2	3	2	3	3	49		
P9	4	3	5	4	5	4	6	5	4	3	3	3	5	5	4	63		
P10	2	3	1	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	40		
Mediana	2.5	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	2	3	3	47		

Muestra		QP9																
Panelista	Visual			Olfativo		Textura			Gustativo						Impresión global	Sumatoria total		
	Color Miga	Alveolatura	Aspecto	Intensidad	Aroma	Firmeza Corteza	Firmeza Miga	Granulosidad	Gomosidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Regusto	Gusto	P. Final			
P1	7	7	7	6	6	6	7	7	6	5	5	6	5	6	6	92		
P2	5	6	6	6	7	6	6	7	6	6	6	6	6	7	6	92		
P3	5	5	5	2	2	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5	67		
P4	4	4	4	4	4	5	5	5	3	3	3	4	3	3	4	58		
P5	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	89		
P6	5	4	4	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5	71		
P7	6	6	7	7	5	3	7	6	7	6	7	6	4	6	6	89		
P8	7	7	7	6	6	7	5	5	6	6	5	6	6	7	7	93		
P9	4	4	3	4	3	5	5	4	3	2	1	1	1	2	3	45		
P10	3	5	4	5	4	4	6	6	6	6	4	4	4	5	5	71		
Mediana	5	5	5.5	5.5	5	5	5.5	5.5	6	5.5	4.5	5.5	5	5.5	5.5	80		

Muestra		QP10																
Panelista	Visual			Olfativo		Textura			Gustativo						Impresión global	Sumatoria total		
	Color Miga	Alveolatura	Aspecto	Intensidad	Aroma	Firmeza Corteza	Firmeza Miga	Granulosidad	Gomosidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Regusto	Gusto	P. Final			
P1	7	7	7	4	5	6	7	6	6	6	6	4	7	7	7	92		
P2	4	2	4	3	3	3	5	5	5	3	4	3	4	4	5	57		
P3	6	5	6	2	2	4	5	5	5	4	5	6	6	6	5	72		
P4	4	2	3	5	3	3	3	4	4	2	4	3	3	5	4	52		
P5	6	5	6	5	4	6	6	6	5	3	6	5	4	7	6	80		
P6	6	6	6	6	7	3	7	6	7	6	6	4	6	7	7	90		
P7	4	3	4	4	4	3	3	2	4	3	3	3	4	3	4	51		
P8	6	5	6	6	6	4	4	4	6	5	4	4	4	4	5	73		
P9	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	5	5	5	85		
P10	6	6	6	4	4	5	4	6	6	2	4	2	6	6	6	73		
Mediana	6	5	6	4.5	4	4	5	5.5	5	3.5	4.5	4	4.5	5.5	5	73		

Muestra																
QP11																
Panelista	Visual			Olfativo		Textura			Gustativo					Impresión global	Sumatoria total	
	Color Miga	Alveolatura	Aspecto	Intensidad	Aroma	Firmeza Corteza	Firmeza Miga	Granulosidad	Gomosidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Regusto	Gusto		P. Final
P1	5	3	3	5	5	4	5	5	5	5	4	4	4	4	5	66
P2	5	3	2	2	3	3	2	2	2	2	1	2	1	2	2	34
P3	3	2	2	3	3	2	2	3	5	3	3	4	3	4	3	45
P4	5	4	4	3	3	3	4	6	6	4	3	3	5	5	5	63
P5	4	3	5	3	4	6	2	2	4	5	5	5	5	6	5	64
P6	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	61
P7	3	4	3	3	3	2	3	3	4	5	5	4	5	6	5	58
P8	4	4	4	5	5	4	4	5	5	5	4	6	5	5	5	70
P9	3	3	3	4	4	3	4	4	5	5	5	4	6	6	4	63
P10	5	5	6	7	6	3	7	7	7	6	7	7	6	7	7	93
Mediana	4	3.5	3.5	3.5	4	3	4	4.5	5	5	4	4	5	5	5	63

Muestra																
QP12																
Panelista	Visual			Olfativo		Textura			Gustativo					Impresión global	Sumatoria total	
	Color Miga	Alveolatura	Aspecto	Intensidad	Aroma	Firmeza Corteza	Firmeza Miga	Granulosidad	Gomosidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Regusto	Gusto		P. Final
P1	4	5	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4	5	6	5	80
P2	4	6	5	6	3	6	6	3	7	5	3	3	3	4	5	69
P3	6	6	5	6	6	6	6	6	3	5	3	4	3	4	5	74
P4	3	4	4	5	5	6	5	6	5	3	4	3	3	3	5	64
P5	5	6	4	5	7	6	6	6	4	4	5	4	6	6	6	80
P6	6	6	6	4	4	5	6	6	5	6	4	5	5	6	6	80
P7	6	5	5	7	6	3	6	6	7	5	6	5	6	6	6	85
P8	5	5	4	5	5	5	4	5	4	4	4	4	4	4	5	67
P9	2	3	2	2	3	4	4	3	5	4	3	3	2	5	3	48
P10	3	4	2	7	3	5	4	4	5	3	4	3	4	5	4	60
Mediana	4.5	5	4.5	5.5	5	5.5	6	6	5	4	4	4	4	5	5	71.5