



**Universidad del Azuay**  
**Facultad de Ciencia y Tecnología**  
**Escuela de Ingeniería en Alimentos**

**Optimización de las condiciones de germinación de amaranto a  
través de modelos factoriales y métodos multicriterio**

**Trabajo de grado previo a la obtención del título de  
Ingeniero en Alimentos**

**Autora:**

**Deysi Johanna Castro Castro**

**Director:**

**Diego Patricio Suárez Estrella, Ph. D.**

**Cuenca - Ecuador**

**2024**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación dedico a Dios, ya que me dio el don de la perseverancia para alcanzar mis metas y culminar mi carrera. A mis padres, Marcelino y Alejandrina, porque con su amor, apoyo y sus constantes consejos me ayudaron a cumplir este sueño. A mi hija por ser mi motor para superar cualquier obstáculo y mi mayor motivación para nunca rendirme. A mi pareja que, con su amor y motivación, me impulsó para salir adelante. A mis hermanos, quienes me dieron ejemplo de perseverancia y lucha, además de saber que mis logros también son los suyos. A mi tía Dora en el cielo quien, segura estoy, está muy orgullosa por este logro porque siempre me impulsó para alcanzar esta meta. A toda mi familia, por su apoyo incondicional con el que me ayudaron a salir adelante. A mis amigos y compañeros quienes, de una u otra manera contribuyeron para lograr mis objetivos.

## AGRADECIMIENTO

Primeramente, doy gracias a Dios por darme vida, salud, fortaleza y guiarme día a día para alcanzar mis objetivos.

Gracias Ingeniero Diego Suárez, sin usted y sus virtudes, su paciencia y constancia, este trabajo no hubiera sido posible. Sus consejos fueron siempre útiles. Usted formó parte importante de esta historia con sus aportes profesionales, que lo caracterizan. Muchas gracias por sus múltiples palabras de aliento, gracias por sus orientaciones, impulsándome a mejorar cada día como profesional y como ser humano.

A mis docentes. Sus palabras fueron sabias, sus conocimientos rigurosos y precisos, a ustedes mis profesores queridos, les debo mis conocimientos. Donde quiera que vaya, los llevaré conmigo en mi transitar profesional. Gracias por su paciencia, por compartir sus conocimientos de manera profesional e invaluable, por su dedicación perseverancia y tolerancia.

A mis padres, ustedes han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, a mi hija y pareja quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles, durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías de vida. Hoy cuando concluyo mis estudios, les dedico a ustedes este logro, amados padres y familia. *Gracias por ser quienes son y por creer en mí.*

No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos, les agradezco y hago presente mi gran afecto hacia ustedes mi hermosa familia.

Agradezco a la Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería en Alimentos por abrirme sus puertas y permitirme vivir la mejor experiencia de mi vida.

## RESUMEN

El amaranto es una semilla de alto valor nutricional, característica que se ve mejorada por procesos como la germinación, que aumentan la disponibilidad de los micronutrientes, mejora la actividad antioxidante y reduce la concentración de sustancias tóxicas. Esta investigación tuvo como objetivo optimizar las condiciones de germinación para semillas de amaranto (var. *Alegría*), para consumo luego de cocción y para elaboración de pan, considerando la aceptabilidad del consumidor y porcentaje de semillas germinadas, utilizando herramientas experimentales. La germinación óptima para consumo directo está entre 12 y 36 horas a temperaturas entre 20 y 30°C. Para el pan es recomendable un 10% de sustitución, con semillas germinadas a 35°C por 24 horas. En conclusión, las condiciones óptimas de germinación de semillas dependen del uso previsto.

**Palabras clave:** Amaranto, germinación, optimización, panificación, análisis sensorial, diseño experimental

## ABSTRACT

Amaranth is a seed of high nutritional value, a characteristic that is improved by processes such as germination, which increases the availability of micronutrients, improve antioxidant activity and reduce the concentration of antinutritional compounds. The objective of this research was to optimize germination conditions for amaranth seeds (var. *Alegria*), for consumption after cooking and for bread-making, considering consumer acceptability and percentage of germinated seeds, using experimental tools. Optimum germination for direct consumption is between 12 and 36 hours at temperatures between 20 and 30°C. For bread, a 10% substitution is recommended, with seeds germinated at 35 °C for 24 hours. In conclusion, the optimum seed germination conditions depend on the intended use.

**Keywords:** Amaranth, sprouting, optimization, bread-making, sensory analysis, experimental design.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT .....	iv
ÍNDICE .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
CAPITULO I.....	10
1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Botánica y morfología.....	12
1.1.1. Planta .....	12
1.1.2. La Raíz:.....	13
1.1.3. El Tallo: .....	13
1.1.4. Las Hojas: .....	13
1.1.5. Las Flores: .....	13
1.1.6. La Inflorescencia:.....	14
1.1.7. El Fruto:.....	14
1.1.8. La Semilla: .....	15
1.2. Características bromatológicas y de calidad del grano.....	15
1.2.1. Aminoácidos.....	16
1.2.2. Vitaminas y minerales.....	17
1.2.3. Lípidos.....	17
1.3. Usos del Amaranto en el Campo Alimentario .....	17
1.4. Variedad Alegría.....	18
1.5. Germinación de semillas .....	19
1.5.1. Composición Química y Valor Nutricional del amaranto germinado .....	20
1.5.2. Usos del amaranto germinado.....	21
CAPÍTULO II.....	23
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
2.1. Materiales .....	23
2.2. Métodos.....	23
2.2.1. Diseño experimental aplicado a la germinación de semillas de amaranto .....	23
2.2.2. Germinación de las semillas de amaranto .....	26
2.2.2.1. Adaptación de un equipo para germinación .....	26

2.2.2.2.	Proceso de germinación de las semillas de amaranto .....	27
2.2.2.3.	Determinación del porcentaje de semillas germinadas .....	28
2.2.3.	Análisis fisicoquímico y sensorial de las semillas germinadas .....	29
2.2.3.1.	Determinación del porcentaje de humedad y absorción de agua .....	29
2.2.3.2.	Tiempo de cocción .....	29
2.2.3.3.	Análisis sensorial .....	30
2.2.4.	Molienda .....	30
2.2.5.	Panificación .....	31
2.2.6.	Aplicación de modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización del pan.....	31
2.2.7.	Análisis fisicoquímicos del pan con harina de amaranto germinado .....	34
2.2.7.1.	Volumen específico.....	34
2.2.8.	Análisis sensorial.....	34
2.2.9.	Análisis estadístico .....	34
CAPÍTULO III.....		37
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
3.1.	Germinación de las semillas .....	37
3.2.	Porcentaje de semillas germinadas .....	37
3.3.	Análisis fisicoquímicos y sensoriales de las semillas de amaranto .....	38
3.3.1.	Tiempo óptimo de cocción .....	38
3.3.2.	Análisis sensorial de las semillas de amaranto .....	39
3.4.	Optimización de las condiciones de germinación de semillas de amaranto para consumo directo .....	41
3.5.	Porcentaje de semillas germinadas para el diseño de superficie de respuesta ..	43
3.5.1.	Análisis sensorial de las semillas de amaranto .....	43
3.6.	Análisis de los panes obtenidos diseño factorial completo $2^3$ .....	48
3.6.1.	Porcentaje de semillas germinadas con diseño factorial $2^3$ .....	48
3.6.2.	Volumen específico con diseño factorial $2^3$ .....	49
3.6.3.	Análisis sensorial del pan con harina de amaranto germinado con diseño factorial $2^3$ .....	49
3.6.4.	Aplicación de modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización de pan con harina de amaranto germinado.....	51
3.7.	Análisis de los panes obtenidos con un diseño factorial $2^3$ con 6 puntos axiales	53
3.7.1.	Porcentaje de semillas germinadas diseño factorial $2^3$ con 6 puntos axiales .	53
3.7.2.	Análisis del volumen específico .....	54
3.7.3.	Análisis sensorial del pan con harina de amaranto germinado diseño $2^3$ con 6 puntos axiales .....	55

3.7.4.	Aplicación de modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización de pan con harina de amaranto germinado diseño $2^3$ con 6 puntos axiales... 57
CONCLUSIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS.....	69



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Flor de la planta de <i>Amaranthus spp</i> .....	13
<b>Figura 2.</b> Inflorescencia de la planta de Amaranto.....	14
<b>Figura 3.</b> Representación gráfica del fruto de Amaranto .....	14
<b>Figura 4.</b> Semilla de Amaranto.....	15
<b>Figura 5.</b> Diseño central compuesto.....	24
<b>Figura 6.</b> Diseño factorial multinivel de superficie de respuesta .....	25
<b>Figura 7.</b> Germinador de las semillas de amaranto .....	27
<b>Figura 8.</b> Semillas de amaranto colocadas dentro del germinador.....	27
<b>Figura 9.</b> Semillas germinadas en el deshidratador y almacenamiento en refrigeración ...	28
<b>Figura 10.</b> Proceso de escaneado de semillas y ejemplo de imagen obtenida .....	28
<b>Figura 11.</b> Molino utilizado para la molienda de semillas.....	31
<b>Figura 12.</b> Diseño factorial $2^3$ .....	32
<b>Figura 13.</b> Cocción de semillas germinadas .....	39
<b>Figura 14:</b> Diagrama de Pareto de las semillas germinadas y cocidas de amaranto.....	42
<b>Figura 15:</b> Gráfico de contorno de la función de utilidad, respecto a las condiciones de germinación de las semillas de amaranto con fines de consumo directo.....	42
<b>Figura 16:</b> Gráfico de contorno para la optimización de las condiciones de germinación de las semillas de amaranto.....	47
<b>Figura 17:</b> Diagrama de Pareto .....	52
<b>Figura 18:</b> Utilidad calculada de las interacciones temperatura – tiempo a diferentes porcentajes de sustitución para el pan.....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición química proximal de las semillas de Amaranto .....	16
<b>Tabla 2.</b> Características morfológicas de la variedad de amaranto “INIAP-Alegría” .....	18
<b>Tabla 3.</b> Características de calidad de grano de la variedad de amaranto INIAP-Alegría .....	18
<b>Tabla 4.</b> Matriz de diseño central compuesto .....	24
<b>Tabla 5.</b> Matriz de diseño experimental de superficie de respuesta .....	25
<b>Tabla 6.</b> Matriz del diseño factorial de dos niveles y tres factores, con cuatro réplicas al punto central para el pan con amaranto .....	32
<b>Tabla 7.</b> Matriz del diseño factorial de dos niveles y tres factores, con 6 puntos axiales y cuatro réplicas al punto central para el pan con amaranto .....	33
<b>Tabla 8.</b> Ponderación de cada atributo para la optimización de las semillas germinadas .....	35
<b>Tabla 9.</b> Ponderación de cada atributo para la optimización del pan .....	35
<b>Tabla 10:</b> Porcentaje de semillas germinadas .....	38
<b>Tabla 11:</b> Matriz de las medianas a partir de las evaluaciones sensoriales de semillas germinadas de amaranto .....	40
<b>Tabla 12:</b> Función de utilidad para semillas germinadas (Diseño central compuesto) .....	41
<b>Tabla 13:</b> Porcentaje de semillas germinadas diseño experimental de superficie de respuesta .....	43
<b>Tabla 14:</b> Matriz del diseño factorial multinivel de superficie de respuesta .....	45
<b>Tabla 15:</b> Función de deseabilidad para semillas germinadas (Diseño de superficie de respuesta) .....	46
<b>Tabla 16:</b> Respuestas de la optimización de las semillas .....	46
<b>Tabla 17:</b> Porcentaje de semillas germinadas con diseño factorial $2^3$ .....	48
<b>Tabla 18:</b> Volumen específico con diseño factorial $2^3$ del pan .....	49
<b>Tabla 19:</b> Matriz de las medianas de las respuestas sensoriales del pan elaborado con harina de amaranto germinada con diseño factorial $2^3$ .....	50
<b>Tabla 20:</b> Función de utilidad del diseño factorial $2^3$ , con cuatro réplicas al punto central para el pan con harina de amaranto germinado .....	51
<b>Tabla 21:</b> Respuestas de la optimización del pan .....	52
<b>Tabla 22:</b> Porcentaje de semillas germinadas .....	53
<b>Tabla 23:</b> Volumen específico segundo experimento del pan .....	54
<b>Tabla 24:</b> Matriz de medianas de las respuestas del diseño de superficie para dos niveles y dos factores, con 4 réplicas centrales y 6 puntos axiales para el pan de amaranto. ....	56
<b>Tabla 25.</b> Matriz de las respuestas del diseño factorial $2^3$ , con 4 réplicas centrales y 6 puntos axiales para la optimización del pan .....	57
<b>Tabla 26:</b> Factores e interacciones .....	58

# CAPITULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

El amaranto (*Amaranthus spp*) es una planta autóctona de América del Sur (FAO, 2022), cultivada desde hace unos 5000 a 7000 años (Sánchez, 2007). El amaranto es un pseudocereal (falso cereal), se diferencia de los cereales por ser una dicotiledónea, mientras que se asemeja a ellos en su forma de uso y consumo. La palabra “amaranto” significa la flor que no se marchita, proviene del griego amarantos (Suárez et al., 2013) que quiere decir “eterno, perdurable” (Mapes, 2010). Sin embargo, los pueblos aborígenes latinoamericanos la conocían como kiwicha, término que se sigue utilizando hoy en día entre los agricultores. Fray Martín de Valencia en Santiago Tulyehualco, la llamó Alegría debido al sentimiento que experimentaba al ver los campos sembrados y el salto de la semilla al reventarse en el comal (utensilio de cocina con forma de disco de barro destinado para tostar alimentos) (Jiménez y López, 2019).

La planta de amaranto fue domesticada en México hace más de 4000 años, en donde tuvo un papel fundamental desde el punto de vista alimenticio y ceremonial (Jiménez et al., 2018). La harina de amaranto se utilizaba para elaborar figuras de pan antropomorfas y zoomorfas de deidades llamadas “tzoalli” utilizadas por los indígenas durante sus ceremonias religiosas (Espitia, 2012; Ciocchini, 2013). Durante la conquista se prohibió el consumo de este grano por motivos religiosos, al ser utilizado en ritos paganos relacionados con las lluvias; sin embargo, este cultivo sobrevivió clandestinamente ya que unos pocos indígenas lo continuaron cultivando (Espitia, 2016).

Cuando los españoles llegaron al continente americano, encontraron el amaranto junto al maíz, fréjol y quinua, como los principales granos alimenticios de las poblaciones nativas (Estrella, 1986; Pérez y Luzuriaga, 2010). Existen evidencias arqueológicas de la presencia de semillas de amaranto dentro de las ollas de Tláloc (olla de cerámica moldeada en alto relieve del rostro de Tláloc, dios de la lluvia) en el templo mayor de Tenochtitlan, esto indica que su domesticación fue simultánea a la del maíz (Aguilar, 2012; Mapes, 2015). El amaranto fue usado con el fréjol y la calabaza por los aztecas en el valle de México, por los mayas en Guatemala y por los incas en Sudamérica, junto a la papa, maíz y quinua (Grandes, 2015).

El amaranto es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia *Amarantaceae* y de género *Amaranthus* (Luis et al., 2018). Incluye aproximadamente 70 especies nativas de los trópicos y de las regiones templadas de todo el mundo; de las cuales 40 son de América y el resto procedentes a: Australia, África, Asia y Europa (Espitia et al., 2021). Este género incluye tres especies: *A. cruentus*, *A. hypochondriacus* y *A. caudatus*, que son las más importantes para la producción de semillas (Luis et al., 2018; Espitia et al., 2021).

En la actualidad, el amaranto se encuentra en toda la zona tropical del mundo y en muchas áreas templadas; pero sobresale en Perú, Bolivia, México, Guatemala, India, Pakistán y China donde la explotación de amaranto se destina para la utilización como grano y verdura (hoja); mientras que, en Malasia e Indonesia, únicamente se la usaba como verdura hasta hace unos 30 años (Nieto, 1989). El interés mundial por el amaranto se da a partir de los años 80 (Monteros et al., 1994), cuando aparecen las primeras investigaciones lideradas por la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos y, prácticamente, se produce un redescubrimiento del cultivo, justificado principalmente por su potencial agronómico, excelente calidad nutricional y gran adaptabilidad, incluso en ambientes desfavorables. El amaranto realiza la fotosíntesis vía  $C_4$  para la fijación del carbono (Juan et al., 2007), gracias a su anatomía foliar especializada, llamada anatomía Kranz, que consta de dos capas de células que contienen clorofila, una en el mesófilo y otra unida a los haces vasculares, lo cual elimina la pérdida de carbono debido a la fotorrespiración, permitiendo una alta eficiencia fotosintética. Incluso cuando los poros están medio cerrados, como en un ambiente seco o a altas temperaturas, la conversión de carbono atmosférico en azúcar es alta. Entonces, ya que la fotosíntesis puede ocurrir cuando los estomas están casi cerrados, la pérdida de agua por transpiración es muy baja o incluso nula, por lo que las plantas no morirán ni se secarán debido a la relativa escasez de agua (Nieto, 1989); lo cual explica su gran resistencia a la sequía, requiriendo de menor cantidad de agua en comparación con otras plantas para llegar a producir la misma cantidad de biomasa (Hauptli, 1977; Juan et al., 2007).

De acuerdo a la lengua usada o a la región, el amaranto puede ser llamado: Amaranth (inglés), Kiwicha (Cuzco, Perú), Achita (Ayacucho, Perú), Coyo (Cajamarca, Perú), Achis (Huaraz, Perú), Coimi, Millmi e Inca pachaqui o grano inca (Bolivia), Alegría y Huanthi (México), Rejgira, Ramdana, Eerai (India) (Grandes, 2015). El amaranto es conocido en Ecuador como ataco, sangorache o quinua de castilla. Las primeras investigaciones acerca del amaranto en el Ecuador fueron realizadas en 1983 en el marco del programa de cultivos andinos del INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador), el cual incluyó la recolección y evaluación de germoplasma nativo, completándose con la introducción de germoplasma de otros países, especialmente de la zona andina (Escandón, 2012).

En la colección del INIAP en Ecuador (1982-1984), solo se encontraron plantas productoras de semilla negra. En 1986 se inició la introducción de cereales blancos, la variedad que destaca en Ecuador es INIAP-Alegría, obtenida mediante el mejoramiento selectivo de la variedad "Alan García" (*Amaranthus caudatus* L.) (Jiménez et al., 2018) importada de Cuzco, Perú y estudiada en la estación experimental Santa Catalina en el año agrícola 1987-1988 (Monteros et al., 1994). De las muestras obtenidas se seleccionaron las semillas más promisorias y se transfirieron como variedad mejorada "INIAP-Alegría". Desde el 2002, el INIAP ha continuado investigando el amaranto y se ha promovido

su cultivo y uso tanto como en forma de ataco o sangorache, como de semilla blanca o amaranto (Peralta, 2010).

Las características climatológicas que tiene la sierra ecuatoriana son adecuadas para el cultivo y evaluación de potenciales especies promisorias. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) y UNICEF (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia), han reconocido al *Amaranthus caudatus* como una de esas especies, y que puede ser útil para el mejoramiento nutricional de las poblaciones de escasos recursos económicos de países en vías de desarrollo. Esta variedad tiene un gran potencial de producción en el valle de la sierra, donde la altitud no supera los 2800 msnm, hay alta luminosidad y poca lluvia. Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP, 2014), en Ecuador existen aproximadamente 50 ha cultivadas de amaranto, con rendimiento en semilla seca de 1,5 a 2 ton/ha; además, según esta institución, no se dispone de estadísticas actualizadas sobre superficie, producción y rendimiento. Las provincias en Ecuador con potencialidad alta de superficie cultivable son Pichincha, Imbabura y Chimborazo con aproximadamente 93% del territorio de cada una. El 80% de las superficies con potencialidad media en Ecuador se encuentran distribuidas en las provincias de Loja, Imbabura, Tungurahua y Cotopaxi (Jiménez et al., 2018). En países como México, Bolivia y Perú el amaranto se consume en las mismas cantidades que los cereales (Pérez y Luzuriaga, 2010).

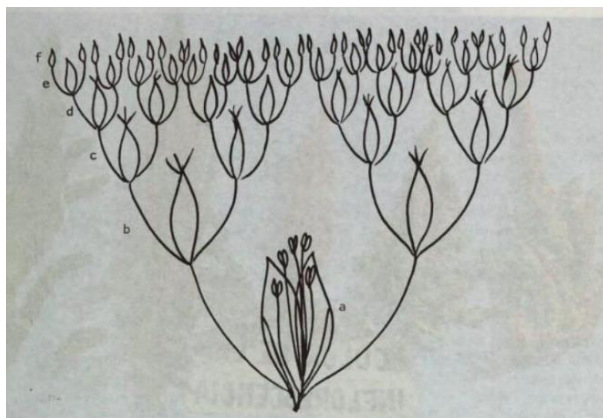
El amaranto es reconocido como uno de los cultivos más prometedores para coadyuvar a conseguir la seguridad alimentaria y combatir la malnutrición (Präger et al., 2018; Espitia et al., 2021), por su potencial agronómico que le permite crecer en condiciones adversas, donde otros cultivos no prosperan (Omami et al., 2006) y por su alto valor nutricional (16 - 19 % proteínas) en composición aminoacídica similar a la leche vacuna (Jiménez et al., 2018).

## 1.1. Botánica y morfología

El amaranto es una planta anual, herbácea y arbustiva, con una variedad de colores que va desde verde a púrpura.

1.1.1. **Planta:** es una planta monoica de días cortos que necesita 8 horas de luz. Sus flores son numerosas, pequeñas, unisexuales, unidas en racimo formando falsas umbelas (flores que nacen en un mismo punto) (Nieto, 1989). Las flores (pistiladas y estaminadas) de *A. caudatus* poseen una bráctea y sépalos. La mayoría de estaminadas presentan 5-6 estambres, degenerado el pistilo hasta convertirse en una pequeña prominencia (elevación) (Peralta, 2010). Un glomérulo de *Amaranthus* es una ramificación dicásial (Figura 1), lo que significa que de la base de la ramificación masculina nacen 2 flores laterales femeninas y así sucesivamente, alcanzando hasta 250 flores femeninas,

formando la panoja; sin embargo, la cantidad de flores polinizadas es hacia abajo, la flor masculina al dejar en libertad el polen se seca y se cae. (Nieto, 1989).



**Figura 1.** Flor de la planta de *Amaranthus spp*

**Fuente:** Nieto (1989)

1.1.2. **La Raíz:** es de tipo axonomorfo (se hunde verticalmente en la tierra), posee numerosas ramificaciones (Loma, 2017) y abundantes raicillas delgadas que crecen rápidamente después de que el tallo comienza a ramificarse, facilita la absorción de agua y nutrientes, las raíces principales son las que sostienen la planta y permiten soportar el peso de la panoja. Las raíces primarias tienen una característica leñosa que sujeta firmemente el árbol, y cuando crece alejada de otras plantas alcanza dimensiones mayores (Cumbal, 2016).

1.1.3. **El Tallo:** tiene forma de un cilindro, deformado y anguloso (Nieto, 1989) con anchas estrías longitudinales que le da una apariencia anclada, posee una longitud de 0,4 a 3 m, su diámetro disminuye desde la base hasta el extremo superior del tallo, brinda distintas coloraciones que pasan por el blanco amarillento, verde claro y púrpura, presentan ramificaciones que, en muchos casos empiezan desde la base a media altura y que se originan en las axilas de las hojas. El número de ramificaciones depende de la densidad de población con la que se siembra el cultivo (Cumbal, 2016; Loma, 2017).

1.1.4. **Las Hojas:** por lo general son opuestas o alternas, no presentan tallo, son aovadas, lisas, ligeramente pubescentes y con nervaduras pronunciadas con una coloración verde o púrpura (Cumbal, 2016) y su tamaño disminuye desde la base al extremo superior, su tamaño varía de 6,5 a 20 cm de longitud y de ancho va de 2 a 8 cm (Loma, 2017).

1.1.5. **Las Flores:** son pequeñas, unisexuales, estaminadas o pistiladas (Mujica et al.,1997), las masculinas poseen de 3 a 5 estambres y las femeninas un ovario súpero (se desarrolla por arriba de los verticilos). Estas pueden estar en plantas monoicas o dioicas en densos racimos ubicados en las

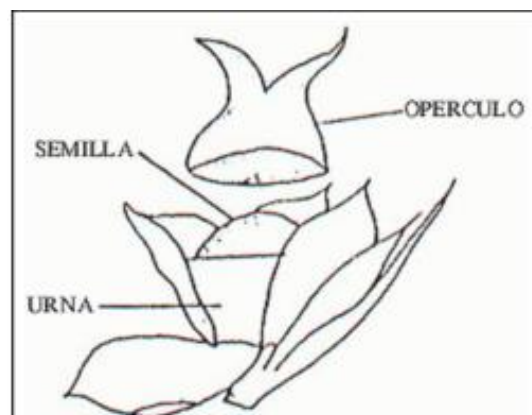
axilas de las hojas formando glomérulos que forman falsas umbelas con 3 o 5 brácteas externas cada una (Loma, 2017).

1.1.6. **La Inflorescencia:** la unidad básica de la inflorescencia es el glomérulo que está formado por una flor estaminada inicial y varias flores femeninas, los glomérulos se encuentran unidos en un eje sin hojas para formar inflorescencias complejas, denominadas espigas o panojas. Son muy llamativas y de color amarillo, naranja, marrón, amarillento, rojo, rosa o púrpura, variando en tamaño desde 0,5–0,9 m (Figura 2) (Nieto, 1989; Mujica et al.,1997).



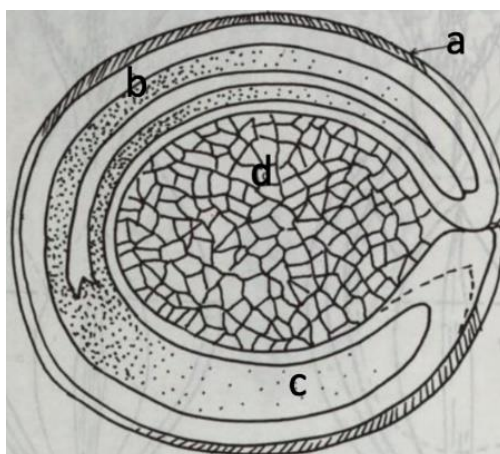
**Figura 2.** Inflorescencia de la planta de Amaranth.  
**Fuente:** Nieto (1989)

1.1.7. **El Fruto:** es una cápsula de tamaño pequeño que botánicamente equivale a un pixidio unilocular, que se abre a la madurez para dejar caer la parte superior o tapa llamado opérculo, dejando la parte inferior descubierta, llamada urna, que contiene la semilla (Figura 3). La urna sale fácilmente, permitiendo la caída de la semilla (Loma, 2017; Cumbal, 2016).



**Figura 3.** Representación gráfica del fruto de Amaranth  
**Fuente:** Gallardo y García (2011)

1.1.8. **La Semilla:** las semillas son muy pequeñas, de 1-1,5 mm de diámetro (Loma, 2017). El número de semillas por gramo varía entre 1000 y 3000. Estas son circulares y vienen en una variedad de colores, incluyendo granos blancos, blanco amarillentos, dorados, rosados, rojos y negros (Nieto, 1989). Anatómicamente, los granos tienen 4 partes importantes: la envoltura que es una capa muy fina de células llamada epispermo (Figura 4a), una segunda capa formada por los cotiledones denominada endospermo (Figura 4b), el embrión (formado por los cotiledones) (Figura 4c), que es la parte más rica en proteínas, y una capa interior, rica en almidón, conocido como perisperma (Figura 4d) (Aguilar, 2012).



**Figura 4.** Semilla de Amaranto

**Fuente:** Nieto (1989)

## 1.2. Características bromatológicas y de calidad del grano

Los granos son de color blanco, con forma redondeada y un tamaño de 1,1 a 1,4 mm de largo por 1,0 a 1,3 mm de ancho (Sánchez, 2007); su peso hectolítrico es de 81 a 83 kg/hl (Monteros et al., 1994). Uno de los nutrientes que sobresale es su contenido de proteínas que se encuentra en mayores concentraciones que en los cereales comunes, con excepción de avena descascarada (Betschart et al., 2006). El amaranto es rico en proteínas, grasas, minerales y fibra, la proteína está distribuida en el germen y la envoltura de la semilla (65,0%), y en el perispermo amiláceo (35,0%).

La semilla de amaranto tiene un alto contenido de proteína cruda de buen valor biológico (15-20%), aminoácidos azufrados (1,6 a 5,5%) y lisina (2,2 a 6,4%) (Sánchez, 2007), lípidos (6-33%), con presencia de ácidos grasos esenciales (linoleico, linolénico), fibra (18-30%), también contiene fitoquímicos con actividad biológica, principalmente actividad antioxidante y nutricional (Sánchez et al., 2018).



**Tabla 1.** Composición química proximal de las semillas

<b>Característica</b>	<b>Semillas de Amaranto</b>
Proteína (%)	15,54
Fibra cruda (%)	5,21
Cenizas (%)	3,61
Grasa (%)	7,31
Calcio (%)	0,14
Fósforo (%)	0,54
Magnesio (%)	0,22
Potasio (%)	0,57
Sodio (%)	0,02
Cobre (ppm)	6,00
Manganeso (ppm)	12,00
Zinc (ppm)	21,00
Energía (Cal/100g)	439,90

**Fuente:** Monteros et al., (1994)

### 1.2.1. Aminoácidos

El amaranto es un alimento completo debido a que contiene 8 aminoácidos esenciales (isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina). El amaranto aporta con cantidades importantes de lisina a la dieta, la lisina es el aminoácido esencial limitante en cereales como el maíz, trigo y arroz (Marques et al., 2018), el amaranto contiene el doble de lisina respecto al trigo y el triple respecto al maíz y tanto como la leche, que es considerada como el estándar en cuanto a proteína en los alimentos (Alegbejo, 2013; Mejía, 2003). Este aminoácido se localiza principalmente en la albúmina del amaranto (Alegbejo, 2013), donde también hay triptófano, treonina y valina; además, en sus proteínas globulínicas se encuentra leucina y treonina y sus glutelinas son ricas en leucina, triptófano, treonina e histidina. Según la FAO, su composición de aminoácidos es inusual; pero adecuada para el equilibrio requerido en dietas para adultos, por lo que este grano se considera como un alimento prometedor y fuente de proteína dietética. Por otro lado, el contenido de aminoácidos esenciales es alto en las fracciones de globulina y prolamina, y la fracción de albúmina tiene el mayor contenido de lisina (Sánchez, 2007). El contenido de lisina y de aminoácidos sulfurados es aproximadamente de 5g y 4,4g por cada 100g de proteína, respectivamente, constituyendo una importante fuente de estos aminoácidos que suelen ser limitantes en los cereales.

### 1.2.2. Vitaminas y minerales

Las vitaminas están presentes en cantidades similares a otros granos (Jiménez-López, 2019), cuyos valores en mg/100g de amaranto son: riboflavina (0,19-0,23), niacina (1,17-1,45) y ácido ascórbico (3,36-7,24). En cuanto a elementos minerales, presenta una concentración elevada de fósforo (1842,95), calcio (567) y potasio (565,48) (Ogrodowska et al., 2014; Mejía, 2003).

### 1.2.3. Lípidos

Este grano es rico en grasas mono y poliinsaturadas, como el ácido linoleico (Omega-3) (Algara et al., 2013). Peña y Ariza (2021) reportaron que su contenido de lípidos varía de 6,1 a 8,1% en base seca, y una composición de grasas distribuida en 30,51% ácidos grasos saturados, 27,46% monoinsaturados y 41,85% poliinsaturados. Su contenido de lípidos es superior al del arroz (2,1% en base seca, b.s.), trigo (2,1% b.s.) y maíz (4,5% b.s.) (Peña y Ariza, 2021), reduciendo riesgos cardiovasculares (Fidalgo-Rodríguez et al., 2020). Entre el 90-93% están en forma libre incluyendo triglicéridos, mientras que el resto están ligados (Lara, 1999).

## 1.3. **Usos del Amaranto en el Campo Alimentario**

La excelente calidad proteica del amaranto, debida a su composición de aminoácidos esenciales permite una muy buena relación costo-beneficio desde un punto de vista nutricional (Gallardo y García, 2011), lo cual ha estimulado su uso tanto para la nutrición humana como animal, aunque se usa también en el campo de la medicina y como ornamentación (Mujica, 1997).

Las hojas tiernas se pueden usar en lugar de las hortalizas de hojas como la espinaca, mientras que el grano se utiliza ya sea de esa forma o como harina. El grano puede ser sometido a procesos de tostado, horneado, reventado o hervido, su harina es usada en panadería, pastelería y galletería (Luis et al., 2018), aunque también puede ser usado como semilla entera para estos fines. La harina de amaranto también se usa como enriquecedor proteico para papillas de destete, que son complementarias a la leche materna (Gallardo y García, 2011).

Con los granos enteros se elaboran cereales para el desayuno, sopas, postres, papillas, tortas, budines, bebidas refrescantes y más. Los granos reventados comúnmente se consumen mezclados con miel de abeja, miel de caña o chocolate, formando diferentes figuras en moldes de madera o metal llamados turrón de “*kiwicha*” en Perú, “*Alegría*” en México y “*tadoos*” en la India (Gallardo-García, 2011). El amaranto también se ha incorporado a una serie de alimentos industrializados extruidos (hojuelas de cereal, tortillas y pastas) (Luis et al., 2018).

#### 1.4. Variedad Alegría

Durante la década anterior, el INIAP logró identificar una línea promisorio de *Amaranthus caudatus*, la cual fue llamada INIAP-Alegría (Escandón, 2012), cuyas características morfológicas y de calidad se presentan en las tablas 3 y 4, respectivamente. Esta variedad fue obtenida por selección a partir de la variedad "Alan García", introducida desde Cuzco-Perú y seleccionada en la estación experimental Santa Catalina durante el año agrícola 1987-1988, la identificación que se le dio fue Alan García-1E y, actualmente, está almacenada en el Banco de Germoplasma del INIAP con el número Ecu-221 (Iza et al., 2019).

**Tabla 2.** Características morfológicas de la variedad de amaranto "INIAP-Alegría"

Ramificación	Sencilla o ramificada
Tipo de raíz	Axonomorfa
Color de la planta	Verde claro
Forma del tallo	Redondo con aristas
Color del tallo a la floración	Verde amarillento
Color del tallo a la madurez	Rosado
Estrías en el tallo	Amarillo claro
Forma de hojas	Ovaladas-Alargadas
Color de hojas	Verde claro
Superficie de una hoja (promedio)	39,6cm <sup>2</sup>
Borde de hoja	Entero
Color de panoja juvenil	Verde amarillento
Color de panoja madura	Rosado
Tipo de panoja	Semirecta
Flores	Unisexuales

**Fuente:** Monteros et al., (1994)

**Tabla 3.** Características de calidad de grano de la variedad de amaranto INIAP-Alegría

Color del grano	Blanco
Forma del grano	Redondo
Tamaño del grano (mm)	0,8-1,4
Peso hectolitrito (kg/hl)	81 – 83
Grano de primera (%)	83 – 92

**Fuente:** Monteros et al., (1994)

## 1.5. Germinación de semillas

La germinación es un bioproceso basado en la reanudación de la actividad metabólica de la semilla y el crecimiento activo de los tejidos del embrión (Sánchez et al., 2018), involucrando cambios en la actividad enzimática de los granos e hidrólisis de las macromoléculas (Torres et al., 2018), incrementando la concentración y digestibilidad de la proteína. Durante la germinación se utilizan las reservas de carbohidratos, lípidos y proteína de la semilla para permitir la emergencia de los embriones contenidos en las semillas (Chaparro et al., 2011). En orden secuencial, la germinación inicia con la entrada de agua a la semilla (imbibición) y termina con la elongación de la radícula (Murphy et al., 1988).

En términos bioquímicos, la germinación es el resultado de procesos catabólicos y anabólicos contrastantes. Los primeros procesos catabólicos ocurren en el órgano de almacenamiento (endospermo en monocotiledóneas y cotiledón en dicotiledóneas), e implica la degradación y movilización de macromoléculas de reserva. Los segundos procesos tienen lugar en los ejes embrionarios e incluyen el soporte de macromoléculas y componentes estructurales como membrana y paredes celulares, para generar nuevas células y tejidos durante el crecimiento (Martínez, 2008).

En condiciones de laboratorio, la radícula que se forma rompe las cubiertas seminales y sale, momento en el cual se considera que la germinación ha tenido lugar (Pita-Pérez, 1998). Por otro lado, se ha reportado que este proceso mejora la biodisponibilidad de nutrimentos e incrementa su potencial nutracéutico al aumentar la disponibilidad de compuestos fenólicos (Sánchez et al., 2018).

La imbibición es la fase en la cual la semilla absorbe agua, que es necesaria para la activación de los procesos metabólicos que favorecen la expansión del embrión, así como el desarrollo y emergencia de la radícula (Martínez, 2008). Por otro lado, la imbibición tiene un efecto sobre la reducción de factores antinutricionales (alfa galactósidos, fitatos e inhibidores de tripsina), que al final en el proceso de remojo serán eliminados con el agua (Torres et al., 2018). Durante la etapa de germinación en sentido estricto, se reduce la capacidad de la semilla para absorber agua y se produce una activación general de su metabolismo (Martínez, 2008), lo cual se expresa por el crecimiento y emergencia de la radícula a través de las cubiertas seminales. Luego, una vez que se rompe la cubierta de la semilla, comienza el crecimiento de la plántula, un proceso complejo y variable según las especies, que implica un elevado gasto de energía que se obtiene mediante la movilización de las reservas nutritivas de las semillas. (Martínez, 2008; Pita-Pérez, 1998). Los compuestos de reserva de las semillas son glúcidos, proteínas y lípidos, en mayor o menor cantidad según la especie. La movilización de esas reservas, durante la germinación es un proceso fundamental que permite la supervivencia de la semilla, hasta que la planta sea capaz de realizar la fotosíntesis y obtener su energía por ese medio (Pita-Pérez, 1998; Martínez, 2008).

A nivel de laboratorio, la germinación de semillas se realiza bajo condiciones controladas. Comienza con la hidratación de sus tejidos y luego se coloca en condiciones adecuadas de temperatura, humedad relativa y oxigenación por el tiempo que sea necesario para cada semilla, aunque el tiempo varía incluso entre las variedades de semillas de una misma especie.

Las plantas de *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus cruentus* no toleran bajas temperaturas, su crecimiento cesa a los 8°C y las plantas se dañan cuando se alcanza una temperatura de 4°C. La planta de amaranto crece a nivel del mar hasta los 2800 msnm; sin embargo, las especies que mejor rendimiento presentan a altitudes superiores a los 1000 m son *A. caudatus* y *A. quitensis*. En general todas las especies de amaranto crecen mejor cuando la temperatura promedio no es inferior a 15°C, temperaturas de 18°C a 24°C parecen ser las óptimas para el cultivo. A nivel experimental, se recomienda su germinación entorno a los 35°C (Nieto, 1989).

Los germinados son ricos en compuestos fitoquímicos que les proporcionan cualidades antiinflamatorias, antioxidantes, anticancerígenas (Castro y Chía, 2020), características que hacen atractivo su consumo, además de tratarse de un grupo de alimentos novedosos en nuestro medio debido a que son productos económicos, accesibles en cualquier época del año y de fácil producción. Otro beneficio relacionado a su consumo incluye el aumento de la hemoglobina, recomendándose para personas con anemia (Núñez et al., 2019). Los germinados pueden ser elaborados a partir de varios tipos de semillas, incluyendo legumbres, cereales y otras; sin embargo, son alimentos de fácil contaminación que permiten una fácil proliferación de mohos y bacterias durante la fase de germinación, por lo que es fundamental contar con un buen proceso previo de desinfección, además de mantener todas las medidas necesarias de seguridad e higiene en campo y de almacenamiento para obtener un alimento apto para el consumo humano (Arrieta, 2021).

#### 1.5.1. Composición Química y Valor Nutricional del amaranto germinado

El proceso de germinación cambia la composición química de las semillas y, por lo tanto, su valor nutricional (Sánchez et al., 2018; Aphalo et al., 2015). Durante la germinación se da una hidrólisis de las moléculas de reserva de las semillas (carbohidratos y proteínas), además aumentan los carbohidratos solubles en agua, fenoles, actividad antioxidante y la biodisponibilidad de vitaminas (riboflavina y ácido ascórbico) (Guardianelli et al., 2021). Luego de la germinación se verifica una disminución en el contenido de lípidos y, por ende, del valor calórico de la semilla, debido a que son usados como fuente de energía durante el proceso (Sánchez et al., 2018); además la relación nutriente-energía de algunas vitaminas es mayor que en la semilla original (Ruiz y Bressani, 1990). Por otro lado, aumenta la digestibilidad del amaranto, así como la biodisponibilidad de sus minerales, mientras que, compuestos antinutricionales como el ácido fítico disminuyen. La germinación aumenta la cantidad de almidón dañado por la actividad de diferentes enzimas.

Cuando se aplica el método Kjeldahl, se ha observado un incremento en el contenido de proteínas del amaranto luego de la germinación, pudiendo pasar de 13,43% a 14,53% si las semillas germinan por 72 horas a 20°C (Guerrero, 2018) ; sin embargo, se debe considerar que el método aplicado mide el contenido de nitrógeno en realidad y luego lo transforma en proteínas utilizando un factor de conversión, es decir, lo que se podría estar observando es un aumento en la disponibilidad del nitrógeno, a través de la formación de aminoácidos a consecuencia de la hidrólisis de las proteínas. El amaranto contiene albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas. Durante el proceso de germinación el contenido de albúmina aumenta y el contenido de globulina disminuye, pero la sumatoria entre albúminas y globulinas se mantiene constante (Ruiz y Bressani, 1990).

El contenido de compuestos fenólicos, antocianinas y flavonoides aumenta con la germinación, así como la actividad antioxidante correlacionada a ellos (Aphalo et al., 2015), mientras que otros autores propusieron que el aumento de los péptidos también aumenta la capacidad antioxidante (Huerta y Barba, 2011; Caselato y Amaya, 2012) y permite obtenerlos a menor costo que aplicando los procesos de hidrólisis convencionales (Aphalo et al., 2015). El consumo de germinados de amaranto aporta beneficios y contribuye a mantener una buena salud. Efectivamente, diferentes estudios afirman que este alimento es adecuado para personas con metabolismo lipídico alterado ya que al consumirlo adecuadamente y en combinación con una dieta apropiada mejora el estado de salud (Corzo et al., 2021; Najdi y Orsat, 2017; Mendonça et al., 2009).

#### 1.5.2. Usos del amaranto germinado

En la industria alimentaria, el amaranto germinado se está utilizando para mejorar la calidad nutricional de los alimentos. Por ejemplo, en la industria pesquera, el amaranto germinado se usa para la elaboración de geles de filetes de tilapia picados (reestructurados), en estos productos se ha observado que no hay variación en sus características físicas, mientras que su contenido de fibra dietética aumenta significativamente, por lo que el germinado de amaranto podría ser utilizado como un ingrediente funcional para el desarrollo de productos pesqueros ricos en compuestos bioactivos (Pérez et al., 2022).

Al usarse la harina de amaranto germinado en combinación con otras harinas, como la de trigo para panificación, mejora el perfil nutricional, puesto que disminuye el índice glucémico y mejora la concentración de lisina y de ácidos grasos insaturados esenciales (ácidos linoleico y linolénico) (Ruiz y Bressani, 1990); además de mantener una calidad tecnológica aceptable (Guardianelli et al., 2021; Paucar et al., 2022). Así mismo, el contenido de fenoles y actividad antioxidante mejora respecto al pan elaborado con harina de semillas sin germinar (Alvarez et al., 2010).

El amaranto germinado es una alternativa para la elaboración de productos sin gluten, con mejores propiedades antioxidantes y contenido fenólico. Se han estudiado los efectos de la sustitución total

de harina de trigo por harina de amaranto germinado para elaborar galletas sin gluten y se observó una disminución en el contenido de grasa y carbohidratos, además aumentó la proteína, fibra dietética total y actividad antioxidante; a la vez que mejoraron las propiedades funcionales y estas galletas tuvieron mejor aceptabilidad y características nutricionales, respecto a las elaboradas con harina de amaranto sin germinar (Chauhan et al., 2015, Criollo y Fajardo, 2010).

El amaranto germinado también ha sido utilizado para la elaboración de pan sin gluten con resultados favorables para su aceptabilidad, mayor volumen y una miga más suave (Horstmann et al., 2019), constituyendo una interesante línea de investigación futura. El amaranto germinado (malta) presenta beneficios nutricionales y características tecnológicas que son aprovechadas para la elaboración de una bebida alcohólica tipo cerveza con buena aceptabilidad, rica en proteína de bajo aporte calórico (Solano, 2018). Otros productos elaborados a partir de semillas de amaranto germinado se enfocan en alimentación infantil; así, por ejemplo, se puede elaborar un alimento de tipo atole (bebida) de bajo costo y rico en nutrientes (Ortiz, 1995), o la elaboración de papillas para infantes, aprovechando la mayor biodisponibilidad de sus aminoácidos esenciales (Rojas et al., 2010). Además, se utiliza en la elaboración de alimentos de tipo snack como barras nutritivas altas en proteínas y con buena aceptabilidad (Beteta, 2006). También se ha utilizado la harina de amaranto germinado para la elaboración de pastel sin huevo ni gluten, a través de una combinación de harina germinada de soja y amaranto destinado para personas con enfermedades celíacas dando como resultado un producto con alta composición nutricional y mayor contenido de minerales debido a los ingredientes germinados utilizados; a la vez que presenta una buena aceptabilidad sensorial (Agrahar et al., 2018).

## CAPÍTULO II

### **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1. Materiales**

El amaranto (*Amaranthus caudatus* var. Alegría) utilizado para la fase experimental de la presente tesis fue adquirida a la Asociación de Productores de semillas y Alimentos Nutricionales “Mushuk Yuyay” (APROSANAMY) en la ciudad de Cañar, Ecuador. Las semillas adquiridas fueron limpiadas y clasificadas previamente a su compra, además de verificada su capacidad germinativa. Todos los procesos en los que fue necesaria agua, se utilizó agua destilada. Para la elaboración del pan se adquirió harina de trigo (Harina refinada, Santa Lucía, 10% de proteína y 0,85% de cenizas), levadura fresca (Levapan) y sal común en almacenes de la ciudad de Cuenca. El agua destilada fue obtenida en los laboratorios de fisicoquímica de la Universidad del Azuay por un proceso de biodespilación.

#### **2.2. Métodos**

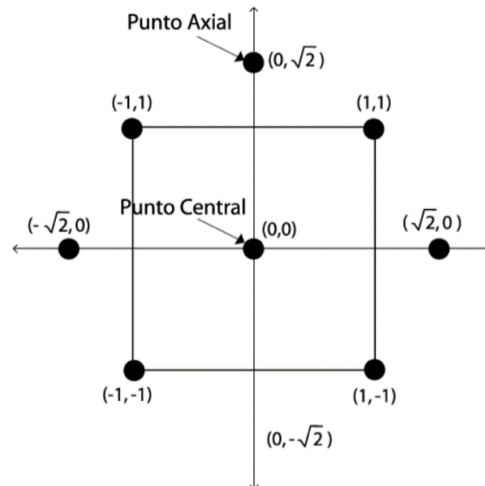
##### **2.2.1. Diseño experimental aplicado a la germinación de semillas de amaranto**

Para elaborar un diseño que considere un adecuado rango experimental, es importante partir de las condiciones óptimas de germinación propuestas en bibliografía; Guerrero (2018) propuso una germinación de 72h a 20°C, mientras que Chauhan et al., (2015) sugirieron una germinación de 20h a 32°C y 90% de humedad, basados en el incremento de la disponibilidad de proteínas y disminución en la grasa que encontraron.

Para la optimización de las condiciones de germinación de semillas de amaranto se comenzó aplicando un diseño central compuesto, cuyas coordenadas experimentales se representan gráficamente en la figura 5, mientras que las condiciones experimentales se presentan en la tabla 4. Las variables que se consideraron son temperatura y tiempo de germinación.

La experimentación incluyó 8 diferentes condiciones experimentales más 4 réplicas en el punto central. Los factores analizados fueron: temperatura y tiempo. El orden de ejecución de los experimentos fue aleatorio. Las respuestas que se obtuvieron se relacionan con características sensoriales, aceptabilidad general de los productos y, además, el porcentaje de semillas germinadas.





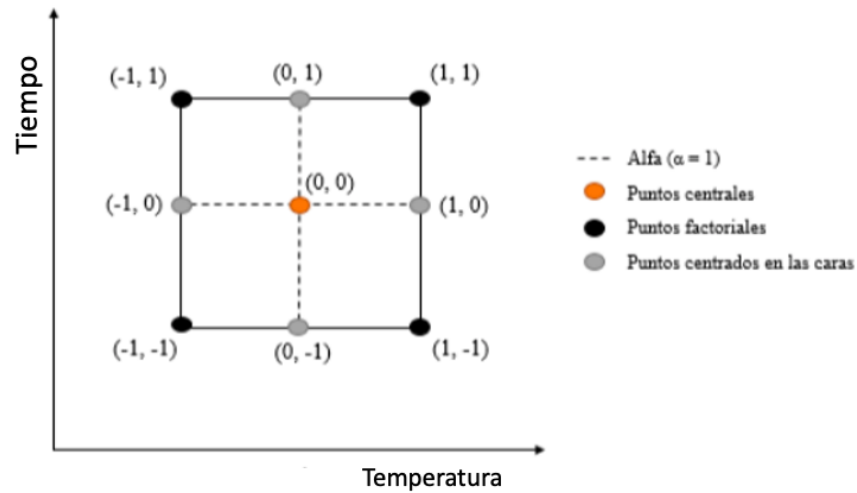
**Figura 5.** Diseño central compuesto

Fuente: (Contreras et al., 2010).

**Tabla 4.** Matriz de diseño central compuesto

Experimento	Temperatura (°C)		Tiempo (h)	
1	-1	25	-1	24
2	1	35	-1	24
3	-1	25	1	72
4	1	35	1	72
5	0	30	0	48
6	0	30	0	48
7	0	30	0	48
8	0	30	0	48
9	0	30	1,414	81,93
10	0	30	-1,414	14,07
11	1,414	37,07	0	48
12	-1,414	22,93	0	48

Debido a los resultados que se obtuvieron y que se expondrán en la sección correspondiente (sección 3.4), fue necesario plantear un nuevo diseño experimental, para explorar un área fuera del campo experimental explorado durante el primer diseño. Así mismo, se tomaron en cuenta las variables: temperatura y tiempo de germinación. En la figura 6 se observa el nuevo diseño planteado y en la tabla 5, las nuevas condiciones experimentales.



**Figura 6.** Diseño factorial multinivel de superficie de respuesta

**Fuente:** (Gil, 2019)

**Tabla 5.** Matriz de diseño experimental de superficie de respuesta

Experimento	Temperatura (°C)		Tiempo (h)	
	-1	1	-1	1
21	-1	20	-1	8
22	1	30	-1	8
23	-1	20	1	40
24	1	30	1	40
25	0	25	0	24
26	0	25	0	24
27	0	25	0	24
28	0	25	0	24
29	0	25	1	40
30	0	25	-1	8
31	1	30	0	24
32	-1	20	0	24

La temperatura mínima del nuevo diseño fue de 20°C, debido a que no se pueden alcanzar de forma estable temperaturas inferiores en el equipo a disposición. Así mismo, no se aplicaron tiempos inferiores a 8 horas porque desde un punto de vista nutricional no se aportan cambios significativos (Chaparro et al., 2011). Estas consideraciones explican también la ausencia de puntos axiales en este nuevo diseño. Igual que en el caso anterior, el orden de ejecución de los experimentos fue aleatorio y se consideró el mismo tipo de respuestas.

## 2.2.2. Germinación de las semillas de amaranto

### 2.2.2.1. Adaptación de un equipo para germinación

Un incubador de tipo (Binder B115, Tuttlingen, Alemania) fue adaptado para que alcance y mantenga las condiciones necesarias para la germinación de las semillas de amaranto (Figura 7). Se montaron varios elementos de regulación y control de temperatura, humedad y circulación del aire necesarios para el proceso de germinación de semillas. Los elementos que se adaptaron son:

- El control de la temperatura (Autonics TCN4S-24R Exhibir, Yangsan-sí, Korea), que regula: temperatura, velocidad y flujo de aire con un algoritmo de control PID que es un controlador proporcional, integral y derivativo. El sistema presentaba una variabilidad de  $\pm 0.5$  °C.
- El Breaker 3p 40A conecta la energía de un circuito eléctrico del equipo por medio de una palanca, y protege al actuador cuando la corriente del interruptor se sobrecarga (Interruptor Automático EasyPact CVS100F TMD 40 Regulable 28-40A 3P3D, Scheneider electric, Le Creusot, Francia).
- Para eliminar el calor producido por los componentes electrónicos se instaló un sistema de enfriamiento (SSR Autonics SR1 4-30VDC, Seoul, Korea).
- También fue necesario el uso del disipador (RELEQUICK, Relé semiconductor, Madrid- España) que prolonga la vida útil de un relé, este es un interruptor que da acceso o rechazo a la corriente eléctrica dentro de un circuito.
- El sensor (Autonics 2p, Guayaquil, Ecuador) sirve para controlar la temperatura.
- La luz piloto autonics determina si la máquina se encuentra encendida.
- Un (ventilador 110VAC, 6, Quito, Ecuador) eleva la circulación del aire con el objetivo de mantener una temperatura homogénea dentro del germinador.
- Una membrana de vibración de agua produce niebla gracias a su vibración de alta frecuencia. La humedad de la cámara se mantuvo en un  $95\pm 2\%$ , su encendido y apagado son automáticos de acuerdo con los parámetros programados.
- Finalmente, terminales y material menudo.



**Figura 7.** Germinador de las semillas de amaranto

**Fuente:** Elaboración propia

#### 2.2.2.2. Proceso de germinación de las semillas de amaranto

Las semillas de amaranto que se procesaron fueron previamente limpiadas por el proveedor. El proceso de germinación comenzó con el remojo de las semillas utilizando agua destilada en una proporción de 1:1,3 (semillas : agua) por 12 horas. Las semillas húmedas fueron colocadas en tamices sobre pozuelos de plástico para permitir que el exceso de agua se escurra (Figura 8) y que el oxígeno entre en contacto con las semillas durante su germinación. Cada 8 horas aproximadamente se movieron las semillas de forma manual y el sistema de enfriamiento dentro del equipo incubador facilitó la circulación del aire dentro del mismo.



**Figura 8.** Semillas de amaranto colocadas dentro del germinador

**Fuente:** Elaboración propia

Las temperaturas y tiempos de germinación fueron aplicadas de acuerdo con las condiciones detalladas en las tablas 6 y 7. La humedad relativa de germinación fue constante para todas las muestras:  $95 \pm 1\%$ .

Luego de haber alcanzado los tiempos de germinación en cada muestra, una parte se separó para la determinación del porcentaje de semillas germinadas y el resto se colocó sobre lienzos dentro de un deshidratador (Excalibur 3900B Deluxe, New York, USA) (Figura 9) por 5 horas a 50°C. Las semillas secas se mantuvieron a 4°C dentro de fundas herméticas y rotuladas hasta su análisis.

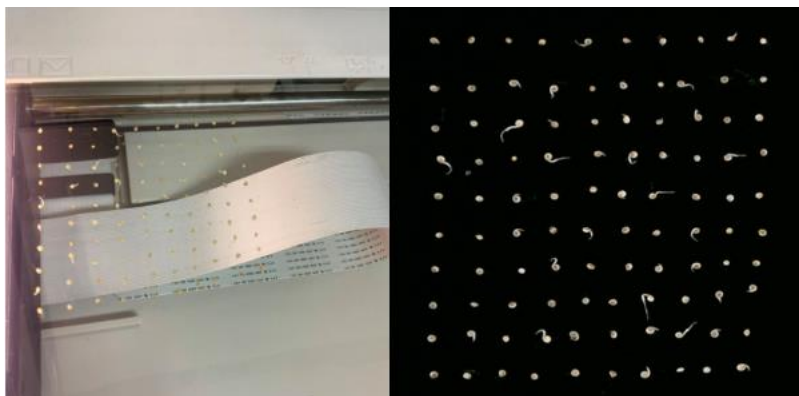


**Figura 9.** Semillas germinadas en el deshidratador y almacenamiento en refrigeración

**Fuente:** Elaboración propia

#### 2.2.2.3. Determinación del porcentaje de semillas germinadas

Se escanearon 100 semillas germinadas antes de ser secadas (Xerox WorkCentre 4260/S, Norwalk, Estados). Las semillas fueron colocadas sobre el vidrio del escáner ordenadas en formato de 10x10 con un fondo negro para facilitar su visualización (Figura 10). El escaneado fue realizado a color y con calidad de 300 dpi. El porcentaje de semillas germinadas corresponde al número de semillas escaneadas que formaron una raicilla.



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

**Fuente:** Elaboración propia

### 2.2.3. Análisis fisicoquímico y sensorial de las semillas germinadas

#### 2.2.3.1. Determinación del porcentaje de humedad y absorción de agua

La determinación del porcentaje de humedad se basa en la pérdida de peso de la muestra por acción del calor. El peso final de la muestra se relaciona a su peso inicial y se expresa en porcentaje. Se determinó la humedad del amaranto antes y después de ser remojado por 12 horas. Se pesaron aproximadamente 7 g de muestra en un crisol utilizando la balanza analítica (Kern, WB12G0052, Balingen, Alemania). Las muestras fueron colocadas en una estufa (Continental Equipment, 5525/93, Hannover, Alemania) a 105°C por 24 horas. Luego se colocaron en un desecador por 2 horas y finalmente se pesaron los crisoles con las muestras, y se aplicó la ecuación 1 (n=3).

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(M1 - M2)}{M} \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

**Fuente:** Martines y Lira, 2010

donde M1 es el peso del crisol más la muestra húmeda, M2 es el peso del crisol más la muestra seca y M es el peso de la muestra.

Luego del remojo de las semillas con agua destilada en una proporción de 1:1,3 (semillas:agua) por 12 horas, estas fueron cernidas y se pesó el agua residual para calcular el porcentaje de agua absorbida por las semillas respecto a su peso (n=9) (Ecuación 2).

$$\% \text{ Absorción de agua} = \frac{\text{Agua absorbida}}{\text{Muestra original}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

**Fuente:** Elaboración propia

donde el agua absorbida es el agua de remojo menos el agua residual y la muestra original es el peso de la muestra en gramos.

#### 2.2.3.2. Tiempo de cocción

Es el tiempo que transcurre desde que las semillas se sumergen en agua hirviendo hasta que los gránulos de almidón dentro del endospermo se gelatinicen por completo (Wood 2017). Las semillas de amaranto fueron colocadas en agua destilada hirviendo (temperatura aproximada de 90°C). En el caso de las semillas de amaranto, el tiempo óptimo de cocción fue cuando el almidón se gelatinizó por completo, lo cual se verifica cuando el centro blanco del amaranto desaparece.

En la práctica, se hirvieron 250 cm<sup>3</sup> de agua destilada en un vaso de precipitación, se agregaron 30 g de las muestras obtenidas y se mantuvo agitación constante utilizando una varilla de vidrio hasta cuando el centro blanco de la semilla de amaranto desapareció.

#### 2.2.3.3. Análisis sensorial

El análisis sensorial se basó en la percepción individual de cada catador. Este análisis es una herramienta importante en el desarrollo de nuevos productos ya que ayuda a determinar su potencial aceptación por parte del consumidor. El método aplicado fue propuesto por Larmond (1977), que se basa en pruebas afectivas y discriminativas, en donde los jueces sensoriales expresan su opinión personal y subjetiva en las pruebas, indicando si les gusta o les disgusta, si lo aceptan o lo rechazan o, a su vez, si prefieren un producto a otro. Se evalúa aspectos como: gusto, aroma, aspecto y textura, además de otras características de interés de las muestras. De todas formas, es importante destacar que durante este trabajo se aplicaron solamente pruebas afectivas y no discriminativas, puesto que no fue objeto de este estudio discriminar las muestras sino optimizar las condiciones de germinación en base a los resultados de las pruebas afectivas.

Los análisis sensoriales de las semillas se realizaron en el laboratorio de análisis sensorial de la Universidad del Azuay. Se evaluó: sabor, color, aroma, textura y aceptabilidad general. La evaluación sensorial de las muestras se realizó con 10 catadores semientrenados, los cuales recibieron instrucciones sobre el contenido de las fichas de cata, muestras y forma de calificación (anexo 3). Para el análisis de semillas cocidas se utilizaron fichas de catación con una escala hedónica de siete niveles, donde “1” corresponde a la calificación más baja (“Me disgusta mucho”) y “7” corresponde a la calificación más alta (“Me gusta mucho”) (Anexo 1). Las semillas cocidas se dejaron enfriar a temperatura ambiente por 20 minutos, luego se presentaron porciones de 18 gramos en platos blancos al panel sensorial. Los catadores se enjuagaron la boca con agua entre cada muestra.

#### 2.2.4. **Molienda**

Los granos fueron triturados y reducidos a fracciones más pequeñas para transformarlos en harina, que fue utilizada para la elaboración del pan. Se colocaron tandas de 35 g de cada muestra en un molino (Hamilton Beach 80305R, Glen Allen, Virginia Estados Unidos de Norteamérica) (Figura 11) por 50 segundos, las harinas obtenidas se almacenaron en fundas Ziploc a 4°C hasta su utilización.



**Figura 11.** Molino utilizado para la molienda de semillas

**Fuente:** Elaboración propia

### 2.2.5. Panificación

Para la elaboración del pan se usó 70, 80 y 90% de harina de trigo y 30, 20 y 10% de harina de amaranto germinado, respectivamente; 2,5% de levadura fresca, 1,5% de sal y 65% de agua.

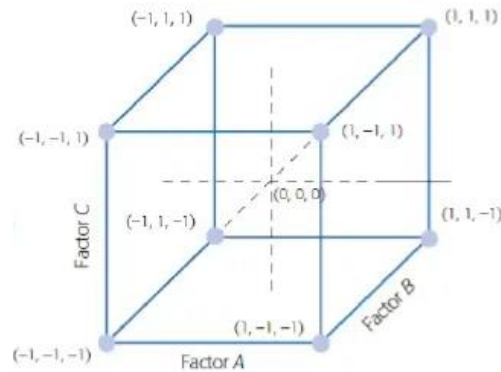
Para la mezcla de los ingredientes (1 minuto a velocidad 1) y su amasado (5 minutos a velocidad 4) se utilizó un equipo (KitchenAid Professional 600, FBA KP26M1XWH, Michigan, USA), evitando que la levadura entre en contacto con la sal, antes del mezclado. La masa obtenida se dividió en porciones de 250g, que fueron redondeadas manualmente, cubiertas con plástico para evitar la pérdida de humedad y se dejó reposar por 10 minutos. Las masas fueron boleadas, laminadas con un bolillo y envueltas, obteniéndose formatos alargados que se colocaron en moldes de aluminio (15 x 7,5 x 7 cm, largo, ancho y profundidad, respectivamente), engrasados con manteca vegetal (Marca tres chanchitos) e introducidos en la cámara de leudo (Unox Bajertop Mind Lievox 8 modelo XEBPC-08EU-B, Cagliari, Italia) a 30°C con 75% de humedad hasta que la masa sobrepase 1 cm el borde superior molde (entre 70 y 85 minutos). La masa fue horneada (Unox Bakertop modelo XEBC-06FS-EPRM-AL, Cagliari, Italia) a 200°C por 20 minutos con ventilación 1 e inyección manual de vapor en el comienzo del horneado.

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

El diseño experimental permite conocer los efectos que tienen los factores y sus interacciones sobre las respuestas (Fernández, 2020). Los diseños aplicados en este trabajo no requieren de un gran número de experimentos por cada factor a estudiar, las observaciones por los diseños se pueden interpretar utilizando el sentido común, la aritmética elemental y los gráficos por ordenador. Es posible aumentar el alcance de los diseños cuando se necesita evaluar un área prometedora fuera de la zona analizada originalmente.



Para la optimización del pan con niveles diferentes de sustitución de harina de amaranto germinada se optó por un diseño experimental factorial completo  $2^3$  con cuatro réplicas en el punto central, el diseño puede representarse como un cubo (Figura 12).



**Figura 12.** Diseño factorial  $2^3$

**Fuente:** (Gil, 2019)

Los factores evaluados para la optimización fueron las condiciones de temperatura y tiempo de germinación y el porcentaje de harina de trigo sustituida por harina de amaranto germinada (10%, 20% y 30%). Los resultados medidos fueron de carácter sensorial, el porcentaje de semillas germinadas y el volumen específico del pan.

Para la optimización del pan de amaranto se evaluaron los factores que se detallan en la tabla 6.

- Temperatura de germinación de las semillas utilizadas ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Tiempo de germinación (h)
- Porcentaje de sustitución (%)

**Tabla 6.** Matriz del diseño factorial de dos niveles y tres factores, con cuatro réplicas al punto central para el pan con amaranto

Experimentos	Temperatura	Tiempo	Porcentaje de mezcla	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tiempo (h)	Porcentaje de mezcla (%)
1	-1	-1	-1	25	24	10
2	1	-1	-1	35	24	10
3	-1	1	-1	25	72	10
4	1	1	-1	35	72	10
5	-1	-1	1	25	24	30

6	1	-1	1	35	24	30
7	-1	1	1	25	72	30
8	1	1	1	35	72	30
9	0	0	0	30	48	20
10	0	0	0	30	48	20
11	0	0	0	30	48	20
12	0	0	0	30	48	20

De acuerdo con los resultados obtenidos (sección 3.6), fue necesario aplicar un diseño experimental  $2^3$ . Para la aplicación de este diseño experimental se consideraron la temperatura y tiempo de germinación y el porcentaje de mezcla.

**Tabla 7.** Matriz del diseño factorial de dos niveles y tres factores, con 6 puntos axiales y cuatro réplicas al punto central para el pan con amaranto

Experimentos	Temperatura	Tiempo	Porcentaje de mezcla	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Porcentaje de mezcla (%)
1	-1	-1	-1	25	24	10
2	1	-1	-1	35	24	10
3	-1	1	-1	25	72	10
4	1	1	-1	35	72	10
5	-1	-1	1	25	24	30
6	1	-1	1	35	24	30
7	-1	1	1	25	72	30
8	1	1	1	35	72	30
9	-1	0	0	25	48	20
10	1	0	0	35	48	20
11	0	-1	0	30	24	20
12	0	1	0	30	72	20
13	0	0	-1	30	48	10
14	0	0	1	30	48	30
15	0	0	0	30	48	20
16	0	0	0	30	48	20
17	0	0	0	30	48	20
18	0	0	0	30	48	20

## 2.2.7. Análisis fisicoquímicos del pan con harina de amaranto germinado

### 2.2.7.1. Volumen específico

El volumen específico del pan se determinó después de 2 horas de su elaboración. Se utilizó un instrumento de medición de productos oblongos y redondos de panadería, que funciona de forma mecánica (Medidor de volumen de pan JMYT, Zhejiang, China), calibrado previamente con semillas de colza. Con este instrumento se mide el volumen de las semillas de colza desplazadas por el pan. El volumen específico se calcula como el cociente entre el volumen del pan y su masa, usando la ecuación 3).

$$VE = \frac{V}{m} \left( \frac{cm^3}{g} \right) \quad (\text{Ecuación 3})$$

**Fuente:** Vega et al., (2015)

donde:

- **V:** Volumen del desplazamiento (cm<sup>3</sup>)
- **m:** masa del pan (g)

### 2.2.8. Análisis sensorial

La evaluación sensorial del pan con harina de amaranto germinado se realizó en el laboratorio de análisis sensorial de la Universidad del Azuay, se preparó la muestra para la catación. El pan fue cortado en rodajas de 1 cm de espesor, las cuales fueron colocadas en platos blancos y entregadas al panel para su evaluación. Al igual que para la evaluación sensorial de las semillas, se brindó la información necesaria a los panelistas con la debida anticipación; así mismo, se aplicó una escala hedónica de 7 niveles donde 1 es el más bajo y 7 el más alto (Anexo 4). La aceptación por parte de los consumidores se calculó con la misma metodología que fue aplicada a las semillas de amaranto, pero adicionando otros parámetros como firmeza de la corteza y de la miga, granulosidad, color de la miga y alveolatura (Anexo 2).

### 2.2.9. Análisis estadístico

Para evaluar los resultados del diseño experimental, los datos de las fichas de cata se tabularon en Microsoft Excel, se calcularon las medianas de cada parámetro de cada muestra y se elaboró la matriz de las medianas la cual fue cargada en el programa DART 2.0, donde se aplicaron análisis con una función lineal creciente para todos los parámetros evaluados, utilizando una ponderación de

acuerdo con el criterio del analista (Tablas 10 y 11 para las semillas y el pan, respectivamente) y se obtuvieron las funciones de utilidad y deseabilidad.

**Tabla 8.** Ponderación de cada atributo para la optimización de las semillas germinadas

<b>Semillas germinadas de amaranto</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 general	10
Y13	Porcentaje de semillas germinadas	5

En Minitab 2017 (Pensilvania, USA) fueron preparados los diseños experimentales y cargadas las funciones respuesta (utilidad y deseabilidad) calculadas con DART 2.0. Para la optimización de las semillas, se aplicó un diseño de superficie de respuesta, mientras que, para el pan se aplicó un diseño factorial y, posteriormente, se aplicó también un diseño de superficie de respuesta. Se obtuvieron los valor-p las ecuaciones correspondientes de la optimización y sus respectivas tablas y gráficas

**Tabla 9.** Ponderación de cada atributo para la optimización del pan

<b>Pan con harina germinada de amaranto</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
Y17	Volumen específico	5

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Germinación de las semillas

Pasado el tiempo de remojo (12 h), las semillas fueron cernidas y se determinó su humedad en la estufa (ecuación 1). La humedad de las semillas antes del remojo fue de  $11,64 \pm 0,02\%$ , mientras que una vez remojadas llegó al  $47,15 \pm 0,33\%$ . Para calcular el porcentaje de agua absorbida por las semillas se pesó el agua residual, verificándose un porcentaje de absorción de  $89,68 \pm 3,50 \%$ , una vez aplicada la ecuación 2.

La NTE 2646:2012 establece que el contenido de humedad de semillas crudas no tiene que ser mayor a 12%. No existe una norma que establezca la humedad después del remojo; sin embargo, de acuerdo a Bravo et al., (2013), la germinación se debe realizar cuando la semilla alcance porcentajes de humedad del 43%, aproximadamente. Las semillas remojadas para este estudio superaron ligeramente los valores recomendados por Bravo et al., (2013); y fueron capaces de germinar.

#### 3.2. Porcentaje de semillas germinadas

El porcentaje mayor de semillas germinadas se presentó a 25°C por 72 horas (70% de germinación), seguido por 35°C a 72 horas (55%). En cambio, el menor porcentaje de germinación se verificó a 30°C por 14,07 horas (16%) y 35°C por 24 horas (18%) (Tabla 10). Estas son las condiciones ubicadas en los puntos extremos del diseño experimental. De acuerdo a las condiciones en las que se obtuvieron esos resultados, el tiempo de germinación tendría mayor efecto que la temperatura en el porcentaje de semillas germinadas. Bravo et al., (2013) reportan un 70% de germinación a 22-24°C por 48 horas usando la variedad *Oscar Blanco* procedente de Huancayo Perú y, Chaparro et al., (2011) reportan un 80-90% entre un rango de 19 a 28°C luego de 72 horas (*Amaranthus sp*). Las diferencias verificadas con las semillas utilizadas podrían deberse a características propias de las variedades usadas y al método empleado. Así, por ejemplo, Chaparro et al., (2011) contaban con un sistema de aspersión de agua potable que rociaba las semillas cada 6 horas, logrando que se mantengan siempre húmedas. Las adaptaciones realizadas al germinador no incluyeron sistemas de aspersión continua y las semillas tendían a perder humedad, situación que se afrontó con rociado manual cada 12 horas y con la inclusión de un nebulizador automático.

**Tabla 10:** Porcentaje de semillas germinadas

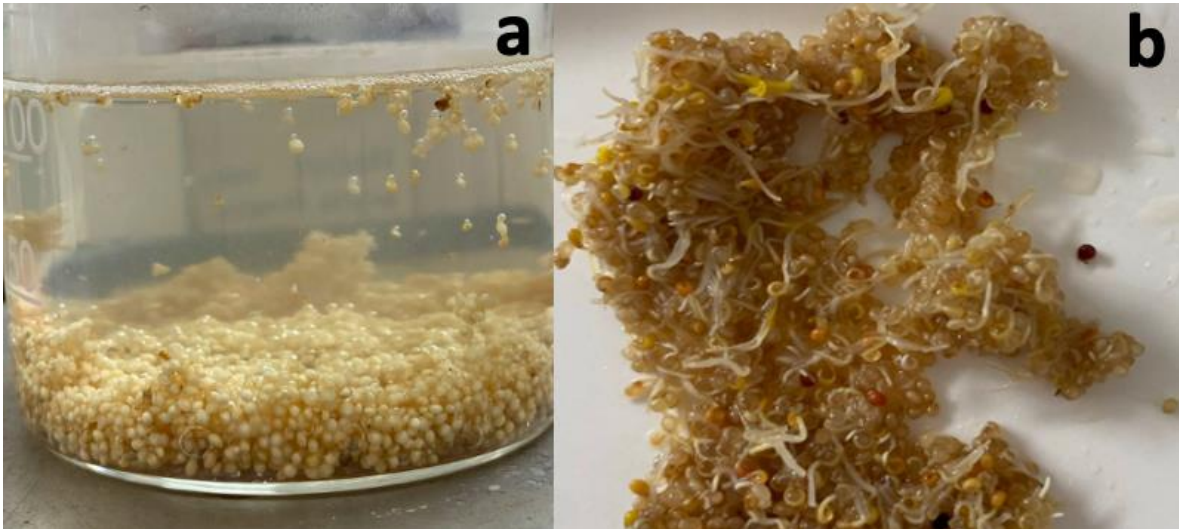
Experimentos	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Semillas Germinadas (%)
1	25	24	30,00
2	35	24	18,00
3	25	72	70,00
4	35	72	55,00
5	30	48	35,00
6	30	48	20,00
7	30	48	25,00
8	30	48	20,00
9	30	81,93	45,00
10	30	14,07	16,00
11	37,07	48	32,00
12	22,93	48	28,00

### 3.3. Análisis fisicoquímicos y sensoriales de las semillas de amaranto

#### 3.3.1. Tiempo óptimo de cocción

El tiempo óptimo de cocción se determinó en el momento en el que se completó el proceso de gelatinización (desaparición del corazón blanco) (Figura 13). Para las semillas germinadas, el tiempo fue de aproximadamente 15 minutos de tratamiento en agua a 92 °C, razón por la cual, se aplicó este tiempo de tratamiento a las semillas utilizadas en el posterior análisis sensorial.

Wood (2007) indicó que el término “cocido” se define como la gelatinización completa del almidón en una semilla. Entonces, durante la cocción, se debe alcanzar una completa gelatinización del almidón de las semillas, lo cual se verifica por la desaparición del núcleo blanco que se vuelve gelatinoso y opaco (en muchas semillas se vuelve amarillo y semi transparente). De acuerdo a Bressani et al., (1992) el tiempo óptimo de cocción del amaranto (*A. caudatus*, variedad sin especificar) es 10 minutos a 96 °C; sin embargo, para la variedad que se estudió en este trabajo (*A. caudatus* var. *Alegría*), fueron necesarios 15 minutos de cocción a 92 °C para alcanzar una gelatinización completa, lo cual podría deberse a la variedad y a la menor temperatura de ebullición del agua.



**Figura 13.** Cocción de semillas germinadas

**Fuente:** Elaboración propia

a: Proceso de cocción. b: Semillas cocidas

### 3.3.2. Análisis sensorial de las semillas de amaranto

Los resultados del análisis sensorial obtenidos fueron introducidos en una tabla de Microsoft Excel y calculadas las medianas de cada variable para cada muestra. La matriz de las medianas obtenida se muestra en la tabla 11.



**Tabla 11:** Matriz de las medianas a partir de las evaluaciones sensoriales de semillas germinadas de amaranto

	Visual	Olfativo		Gustativo								Puntaje Final
Exp.	Aspecto	Intensidad	Aroma	Gomosidad	Suavidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Astringencia	Regusto	Gusto	
1	6	6	5,5	5,5	6	6	6	5,5	6	6	6	5
2	5	5	5,5	6	6	5	5	4,5	5	5	5,5	5
3	3,5	4	4,5	4,5	5	4	4	3,5	4	4	4	3,5
4	5	5,5	5,5	5	5	4,5	5	5	4,5	6	5,5	5,5
5	5,5	5	5,5	6	6	6	5	6	5,5	6	6	6
6	5,5	6	5,5	6	6	5	5	5	4,5	5,5	5	5,5
7	5	4	3,5	4	4	4,5	4	4	4,5	7	5	5
8	4	4	4	4,5	4,5	4,5	4	4	4,5	4,5	4,5	5
9	3	3,5	3,5	4	5	3,5	4	3	3,5	4	4	4
10	6	5	5,5	5,5	4,5	5,5	5,5	5	4,5	5	5	5
11	4	3,5	3	5	5	4	4,5	4	4,5	4,5	5	4,5
12	5	5,5	5	6	6	6	5	5	5	5	5,5	5

### 3.4. Optimización de las condiciones de germinación de semillas de amaranto para consumo directo

Las respuestas obtenidas en el diseño central compuesto fueron: porcentaje de semillas germinadas y los resultados de la evaluación sensorial. La matriz de las medianas elaborada con Microsoft Excel (Tabla 11) fue completada con los porcentajes de semillas germinadas de cada muestra (Tabla 10). Esta matriz completa fue introducida en DART 2.0 y se aplicó una función lineal creciente para todos los factores, con sus ponderaciones respectivas (Tabla 8). Se obtuvo la función de utilidad (Tabla 12).

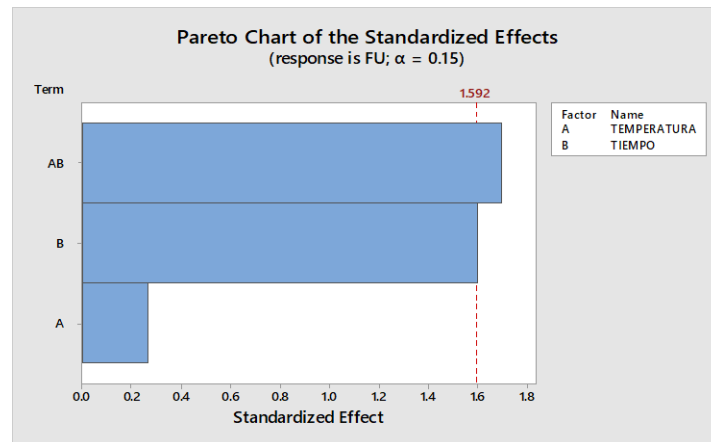
**Tabla 12:** Función de utilidad para semillas germinadas (Diseño central compuesto)

Experimento	Temperatura	Tiempo	Utilidad
1	-1	-1	0,718
2	1	-1	0,637
3	-1	1	0,510
4	1	1	0,702
5	0	0	0,748
6	0	0	0,665
7	0	0	0,585
8	0	0	0,536
9	0	1,414	0,466
10	0	-1,414	0,622
11	1,414	0	0,534
12	-1,414	0	0,655

Temperatura: -1 = 25°C; 0 = 30°C; 1 = 35°C; -1,414 = 22,93°C; 1,414 = 37,07°C

Tiempo: -1 = 24h; 0 = 48h; 1 = 72h; -1,414 = 14,07h; 1,414 = 81,93h

A partir de la información presentada en la tabla 12 se realizó la optimización en el programa Minitab 17, donde se obtuvo la significatividad de las variables y de sus interacciones, representadas en el diagrama de Pareto (Figura 14).

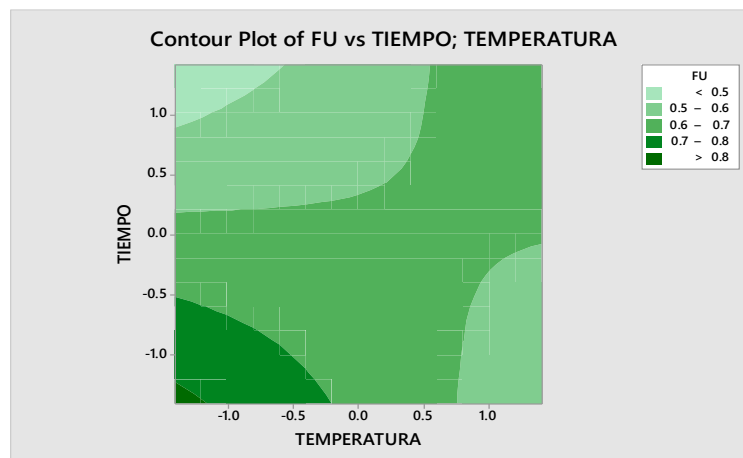


**Figura 14:** Diagrama de Pareto de las semillas germinadas y cocidas de amaranto

En el diagrama de Pareto (Figura 14), las variables y sus interacciones que superan la línea punteada son significativas para el proceso en estudio; en este caso, la germinación de las semillas de amaranto con un nivel de confianza del 85%. De acuerdo a la figura 14, la interacción AB (Temperatura-Tiempo) tiene la mayor significancia, seguida por la variable tiempo. Si bien, la variable temperatura (A) no es significativa por sí sola, su interacción con el tiempo (AB) sí lo es, razón por la cual no se debe omitirla. La función respuesta para la optimización de la germinación de semillas dentro del rango estudiado se presenta en la ecuación 4.

$$\text{Utilidad} = 0,6148 - 0,0455 \text{ Tiempo} + 0,0682 \text{ Temperatura} * \text{Tiempo} \quad (\text{Ecuación 4})$$

El mismo programa permitió obtener el gráfico de contorno del diseño central compuesto aplicado (Figura 15).



**Figura 15:** Gráfico de contorno de la función de utilidad, respecto a las condiciones de germinación de las semillas de amaranto con fines de consumo directo

Temperatura: -1 = 25°C; 0 = 30°C; 1 = 35°C

Tiempo: -1 = 24h; 0 = 48h; 1 = 72h

La gráfica de contornos (Figura 15) indica, de acuerdo a la intensidad de los colores, la función de utilidad dividida por zonas dentro de la superficie experimental analizada. Las zonas de color verde más claro son aquellas con una baja utilidad ( $<0,5$ ) y a medida que el color se intensifica la utilidad es mayor, llegando a superar el valor de 0,8. Cabe destacar que valores de función de utilidad mayores a 0,6 son ya considerados como aceptables (Sandoya, 2007). En este caso en concreto, se puede observar que el color más intenso se ubicó en la parte inferior izquierda, alrededor del punto (-1,-1), que equivale a 24 horas de germinación a 25 °C; pero que podría extenderse hasta una región fuera del rango experimental aplicado en este diseño; lo cual indicó que sería necesario aplicar un nuevo diseño de tipo factorial multinivel, de superficie de respuesta (Tabla 5) para poder evaluar la nueva zona de interés.

### 3.5. Porcentaje de semillas germinadas para el diseño de superficie de respuesta

Bajo las nuevas condiciones experimentales (Tabla 5), el porcentaje de semillas germinadas se presenta en la tabla 13.

**Tabla 13:** Porcentaje de semillas germinadas diseño experimental de superficie de respuesta

Experimento	Temperatura (° C)	Tiempo (h)	Semillas Germinadas (%)
21	20	8	1,00
22	30	8	0,00
23	20	40	35,00
24	30	40	51,00
25	25	24	40,00
26	25	24	15,00
27	25	24	49,00
28	25	24	58,00
29	25	40	88,00
30	25	8	1,00
31	30	24	38,00
32	20	24	1,00

Se observa que el porcentaje mayor de germinación fue a 25 °C por 40 horas (88%,) seguido de 25°C por 24 horas (58%). Mientras que las condiciones con menor porcentaje de germinación fueron aquellas con el menor tiempo de tratamiento (8h) donde no se superó el 1% de semillas germinadas, a ninguna temperatura de tratamiento. Bravo et al., (2013) reportaron un 70% de germinación en un rango de 22 a 24 °C por 48 h, y Sarmiento-Pachari (2022) señalaron una germinación mayor al 95% cuando las semillas fueron tratadas a 26 °C por 72 h en dos ecotipos nativos “grano color negro” y

“grano color rosado” (*Amaranthus caudatus*). El número de semillas que germinaron en las condiciones experimentales aplicadas fue muy variable, obteniéndose resultados muy inferiores a los presentados en la bibliografía analizada, en la mayoría de los casos; pero también otros que sí se asemejan, lo cual es aceptable cuando se aplican diseños experimentales. Se observa que la aplicación del proceso de germinación por 8 h no es suficiente para el desarrollo de los germinados, puesto que los porcentajes obtenidos son insignificantes o nulos (Tabla 13), independientemente de las temperaturas aplicadas, mientras que, el porcentaje de semillas germinadas aumenta considerablemente al incrementar el tiempo.

### 3.5.1. Análisis sensorial de las semillas de amaranto

El procedimiento utilizado para el análisis sensorial es el mismo que se aplicó previamente para el diseño central compuesto. La matriz de las medianas se presenta en la tabla 14.

**Tabla 14:** Matriz del diseño factorial multinivel de superficie de respuesta

	<b>Visual</b>	<b>Olfativo</b>		<b>Gustativo</b>								
<b>Exp.</b>	<b>Aspecto</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Aroma</b>	<b>Gomosidad</b>	<b>Suavidad</b>	<b>Acidez</b>	<b>Dulzor</b>	<b>Amargor</b>	<b>Astringencia</b>	<b>Regusto</b>	<b>Gusto</b>	<b>P. Final</b>
21	6	6	5,5	6	6	6	5,5	6	6	6	6	6
22	6	5,5	6	4,5	6	6	5,5	6,5	6,5	7	6	6
23	7	6	6	6,5	7	6	6	6	7	7	7	7
24	5,5	3	3	5	6	5,5	5	6	6	6	4,5	4,5
25	6	6	6	5,5	6,5	5,5	6	6	6,5	6	6	6
26	6	6,5	6,5	6	6,5	6	6	6	6	6	6	6
27	6,5	5,5	6	6	7	6	6	6	6	7	6	6
28	5	6	5	5	5,5	5,5	6	6	6,5	6	5,5	5,5
29	6	5	5	5,5	5	4	4,5	4,5	4,5	4,5	5	5
30	6,5	6,5	7	6	7	6	6	6	6	6	6	6
31	6	6	6,5	6	6	6	6,5	6,5	6	6,5	7	7
32	6	6	6	6	6,5	6	6	6	7	7	6	6

Una vez obtenidas las medianas correspondientes, se adicionó el porcentaje de semillas germinadas a la matriz y se cargó en el programa DART 2.0. Se aplicó una función lineal creciente para todos los factores, con sus respectivas ponderaciones (Tabla 8) para obtener la función deseabilidad (Tabla 15).

**Tabla 15:** Función de deseabilidad para semillas germinadas (Diseño de superficie de respuesta)

Experimento	Temperatura	Tiempo	Deseabilidad
1	-1	-1	0,488
2	1	-1	0,001
3	-1	1	0,847
4	1	1	0,623
5	0	0	0,506
6	0	0	0,809
7	0	0	0,509
8	0	0	0,680
9	0	1	0,779
10	0	-1	0,691
11	1	0	0,772
12	-1	0	0,721

Temperatura: -1 = 20°C; 0 = 25°C; 1 = 30°C

Tiempo: -1 = 8h; 0 = 24h; 1 = 40h

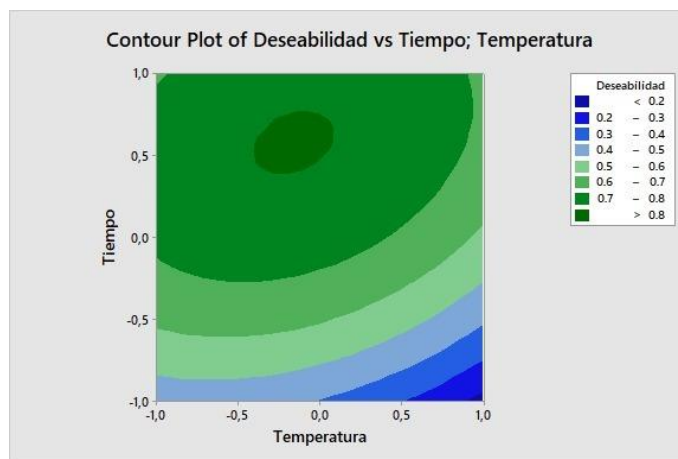
La matriz (Tabla 15) se ingresó en el programa Minitab 17 para obtener las respuestas óptimas de las condiciones de germinación. Se procedió de la misma manera que en el diseño central compuesto; se comenzó verificando la significatividad de las variables, ya sea de forma individual, como a través de sus interacciones (Tabla 16).

**Tabla 16:** Respuestas de la optimización de las semillas

Términos	Valor-p
Temperatura	0,378
Tiempo	0,036
Temperatura * Temperatura	0,414
Tiempo * Tiempo	0,194
Temperatura * Tiempo	0,480

La tabla 16 indica que variables e interacciones son significativas para las semillas germinadas al 95% (valor-p menor a 0,05). En este caso la única variable significativa dentro de este rango experimental es el tiempo.

Se obtuvo la gráfica de contornos (Figura 16) la cual indica los valores de la función de deseabilidad con respecto a los factores estudiados: temperatura y tiempo de germinación. Aunque se observa una región más oscura alrededor de la coordenada (-0,25;0,5), al verificarse que la temperatura no es significativa en este rango experimental (Tabla 16), se puede considerar como óptima, la zona adyacente a dicha región. Así como en el caso anterior (Figura 15), la intensidad de los colores indica los valores de la función deseabilidad. En este caso, se considera como zona óptima a aquella con valores de función deseabilidad mayores a 0,7; pero siendo que el tiempo si es significativo, es necesario definir sus condiciones óptimas que, en este caso se encuentran ubicadas sobre el punto 0 para tiempo de germinación (más de 24 horas); de todas formas, de acuerdo a la figura 16, podría ser preferible germinar las semillas por tiempos entre 30 y 36 horas (alrededor de la coordenada 0,5 en el eje del tiempo). Es importante señalar que este tiempo de germinación es óptimo únicamente cuando las semillas de amaranto son germinadas a temperaturas entre los 20 y 30°C que corresponden al rango estudiado en este segundo diseño experimental. Aplicar estos tiempos de germinación a temperaturas mayores significarán deterioros en la calidad del grano, tal como se observó en la figura 15.



**Figura 16:** Gráfico de contorno para la optimización de las condiciones de germinación de las semillas de amaranto.

Temperatura: -1 = 20°C; 0 = 25°C; 1 = 30°C

Tiempo: -1 = 8h; 0 = 24h; 1 = 40h

La función respuesta para la optimización de la germinación de semillas dentro del rango estudiado se presenta en la ecuación 5.

$$\text{Deseabilidad} = 0,7444 + 0,1922 \text{ Tiempo} \quad (\text{Ecuación 5})$$



La ecuación 5 es válida solamente para el intervalo de temperaturas entre -1 y +1 del diseño de superficie de respuesta (entre 20°C y 30°C).

### 3.6. Análisis de los panes obtenidos diseño factorial completo 2<sup>3</sup>

#### 3.6.1. Porcentaje de semillas germinadas con diseño factorial 2<sup>3</sup>

El mayor porcentaje de semillas germinadas (70%) se observó a la menor temperatura y mayor tiempo (25°C por 72 h) (Tabla 17), mientras que el menor porcentaje de germinación (18%) se obtuvo a la temperatura más alta, por el tiempo más corto (35°C por 24h); es decir, a las condiciones opuestas respecto al mejor resultado. Estudios previos reportan un porcentaje de germinación de amaranto de 70%, aplicando tratamientos a temperaturas entre 19 y 28°C por 48h (Chaparro et al., 2011); es decir, niveles similares al máximo reportado en el presente estudio. El menor tiempo requerido por dichos autores para alcanzar el 70% de germinación pudo deberse al método utilizado (germinación en bandejas plásticas acanaladas) y a la hidratación constante que aplicaron a los granos (aspersión cada 6 horas); aunque también existe la posibilidad de que la viabilidad de las semillas haya sido diferente.

**Tabla 17:** Porcentaje de semillas germinadas con diseño factorial 2<sup>3</sup>

Experimentos	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Porcentaje de mezcla (%)	% semillas germinadas
1	25	24	10	30,00
2	35	24	10	18,00
3	25	72	10	70,00
4	35	72	10	55,00
5	25	24	30	30,00
6	35	24	30	18,00
7	25	72	30	70,00
8	35	72	30	55,00
9	30	48	20	35,00
10	30	48	20	20,00
11	30	48	20	25,00
12	30	48	20	20,00

### 3.6.2. Volumen específico con diseño factorial 2<sup>3</sup>

Para el cálculo del volumen específico se aplicó la ecuación 2. Se observó que la muestra 6 (Tabla 18) (35 °C por 24h con un 30% de sustitución) obtuvo el mayor volumen específico (2,66 cm<sup>3</sup>/g). Al contrario, la muestra 2 (35°C por 24 h con un 10% de sustitución) fue la que menor volumen específico presentó.

**Tabla 18:** Volumen específico del pan con un diseño factorial 2<sup>3</sup>

<b>Muestra</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen específico (cm<sup>3</sup>/g)</b>
M1	218	500	2,29
M2	222	485	2,18
M3	218	513	2,43
M4	224	560	2,50
M5	222	490	2,21
M6	224	595	2,66
M7	221	500	2,26
M8	218	510	2,34
M9	220	565	2,57
M10	220	550	2,50
M11	218	550	2,52
M12	220	570	2,59

### 3.6.3. Análisis sensorial del pan con harina de amaranto germinado con diseño factorial 2<sup>3</sup>

El procedimiento para determinar los resultados del análisis sensorial del pan fue el mismo que se aplicó en los diseños de las semillas, los resultados fueron introducidos en una tabla de Microsoft Excel y fueron calculadas las medianas de cada variable para cada muestra, a raíz de lo cual, se elaboró una matriz de las medianas (Tabla 19).

**Tabla 19:** Matriz de las medianas de las respuestas sensoriales del pan elaborado con harina de amaranto germinada con diseño factorial 2<sup>3</sup>.

Experimento	Visual			Olfativo		Textura			Gustativo						Puntaje Final
	Color miga	Alveolatura	Aspecto	Intensidad	Aroma	Firmeza corteza	Firmeza miga	Granulosidad	Gomosidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Regusto	Gusto	
1	6	6	7	6	7	6	6	6	5	5	5	5,5	6	6	6
2	6	6	6	6,5	6,5	6	6	6	6	6	6	6	7	7	6
3	7	6	6,5	5,5	4	5	5,5	5,5	5	5	4,5	4,5	5	5,5	5
4	6	6	6	6	6,5	6,5	6,5	6	6	5,5	6	6	5,5	6	6
5	5,5	6	6	6	6	6	6	6	4	6	5	5,5	5,5	6	6
6	6	6	6	6	5,5	5	5,5	6	5	4,5	5,5	5	6	6	5
7	5,5	4,5	4,5	4	4	5,5	4	4,5	4,5	4	4,5	3,5	3	4	4,5
8	6	5,5	5,5	6	5,5	5,5	6	6	6	5,5	5,5	6	5,5	5	5
9	6,5	6	6,5	6	6	6,5	6	6	6	6	5,5	5	5	5	5,5
10	6,5	6	5,5	5,5	6	5,5	6	6	6	5,5	6	6	6	6	6
11	6	6	6	6	6	6	6	5,5	6	6	6	6	6	6	6
12	7	6	6,5	6	6	6	6	6	6,5	6	5	6	6	6	6

### 3.6.4. Aplicación de modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización de pan con harina de amaranto germinado

Para la optimización del pan se completó la matriz de las medianas (Tabla 19) con los porcentajes de germinación de las semillas (Tabla 17) utilizadas en cada experimento y el volumen específico de los panes obtenidos (Tabla 18). Esos datos fueron tabulados e introducidos en el programa DART 2.0 y se aplicó una función lineal creciente, en donde “7” representa el puntaje más alto en las fichas de cata y “1” es el valor más bajo (Anexo 4). Se aplicaron las ponderaciones presentadas en la tabla 9 y se obtuvo la respuesta multivariada de utilidad (Tabla 20).

**Tabla 20:** Función de utilidad del diseño factorial  $2^3$ , con cuatro réplicas al punto central para el pan con harina de amaranto germinado

Experimentos	Temperatura	Tiempo	Porcentaje	Y
1	-1	-1	-1	0,698
2	1	-1	-1	0,703
3	-1	1	-1	0,635
4	1	1	-1	0,728
5	-1	-1	1	0,657
6	1	-1	1	0,621
7	-1	1	1	0,465
8	1	1	1	0,637
9	0	0	0	0,663
10	0	0	0	0,676
11	0	0	0	0,688
12	0	0	0	0,695

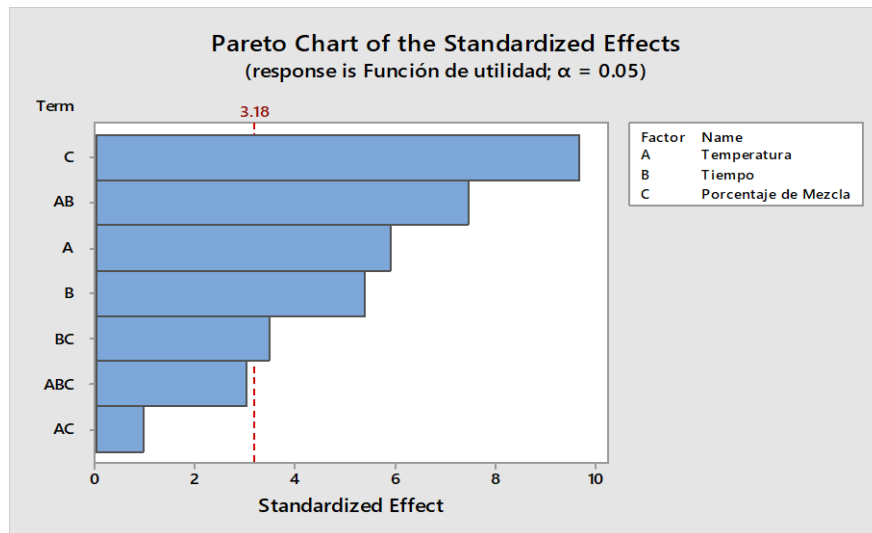
Temperatura: -1 = 25°C; 0 = 30°C; 1 = 35°C

Tiempo: -1 = 24h; 0 = 48h; 1 = 72h

Porcentaje de mezcla: -1 = 10%; 0 = 20%; 1 = 30%

Estos valores se introdujeron en Minitab 17, para identificar los factores significativos. En el diagrama de Pareto (Figura 17) se observó que todos los factores sobrepasaron la línea de referencia (línea entrecortada de color rojo), señalando que todos los factores son significativos estadísticamente, así como casi todas sus interacciones al 95% de confianza ( $\alpha=0,05$ ). Efectivamente, el factor A (Temperatura), B (Tiempo), C (Porcentaje de mezcla) y las interacciones AB (Temperatura-Tiempo) y BC (Tiempo-Porcentaje de mezcla), se encuentran después de la línea de referencia; por otro lado, las interacciones AC (Temperatura-Porcentaje de mezcla) y ABC (Temperatura-Tiempo-Porcentaje

de mezcla) se encuentran antes de la línea; es decir, estas interacciones no son significativas al nivel de confianza analizado.



**Figura 17:** Diagrama de Pareto

Estos valores se confirman con los valores-p reportados en la tabla 21

**Tabla 21:** Respuestas de la optimización del pan

Términos	Valor-p
Temperatura	0,010
Tiempo	0,013
Porcentaje de mezcla	0,002
Temperatura * Tiempo	0,005
Temperatura * Porcentaje de mezcla	0,410
Tiempo * Porcentaje de mezcla	0,040
Temperatura * Tiempo * Porcentaje de mezcla	0,057

Una vez realizada esta verificación se obtuvo la ecuación de utilidad del diseño factorial completo  $2^3$  (ecuación 6) utilizando el programa Minitab 17.

$$\text{Función de utilidad} = 0,64300 + 0,02925 \text{ temperatura} - 0,02675 \text{ tiempo} - 0,04800 \text{ porcentaje de mezcla} + 0,03700 \text{ temperatura} * \text{ tiempo} - 0,01725 \text{ tiempo} * \text{ porcentaje de mezcla} \quad (\text{Ecuación 6})$$

A pesar de haber obtenido una ecuación de función de utilidad, los signos de las interacciones fueron confusos. El signo de la variable temperatura fue positivo y del tiempo fue negativo, por lo que el signo de su interacción debería ser negativo (mas por menos igual a menos); del mismo modo, tanto

el tiempo como el porcentaje de mezcla presentan signos negativos, por lo que el signo de su interacción debería ser positivo (menos por menos igual a mas); sin embargo, se obtiene un signo de interacción negativo, razón por la cual se procedió a ampliar este diseño con la adición de 6 puntos axiales que ayuden a describir con mayor claridad el campo experimental.

### 3.7. Análisis de los panes obtenidos con un diseño factorial $2^3$ con 6 puntos axiales

#### 3.7.1. Porcentaje de semillas germinadas diseño factorial $2^3$ con 6 puntos axiales

Este diseño implicó la realización de 18 experimentos (Tabla 7) En este diseño, se observó que el mayor porcentaje de semillas germinadas se obtuvo a 25 °C por 72h de germinación (70%), mientras que el menor porcentaje de germinación fue el de las semillas tratadas a 35 °C por 48h (14%). Sarmiento-Pachari (2022) reportó un porcentaje de germinación del 95% bajo condiciones similares a las de este estudio (26 °C por 72h) en amaranto negro y rosado, la diferencia en los resultados podría deberse a varios factores como las variedades de las semillas o su viabilidad.

**Tabla 22:** Porcentaje de semillas germinadas

Experimentos	Temperatura (° C)	Tiempo (h)	Porcentaje de mezcla	% semillas germinadas
B1	25	24	10	30,00
B2	35	24	10	18,00
B3	25	72	10	70,00
B4	35	72	10	55,00
B5	25	24	30	30,00
B6	35	24	30	18,00
B7	25	72	30	70,00
B8	35	72	30	55,00
B9	25	48	20	25,00
B10	35	48	20	14,00
B11	30	24	20	15,00
B12	30	72	20	44,00
B13	30	48	10	35,00
B14	30	48	30	35,00
B15	30	48	20	35,00
B16	30	48	20	20,00
B17	30	48	20	25,00
B18	30	48	20	20,00

### 3.7.2. Análisis del volumen específico

De acuerdo a Vásquez et al., (2016), el volumen del pan cambia en función de la concentración y actividad de las enzimas y del porcentaje de sustitución de harina. A mayor porcentaje de sustitución, el contenido y fuerza del gluten disminuyen, afectando la elasticidad y capacidad de estiramiento de la masa y, por ende, disminuyendo el volumen del pan.

El volumen específico se calculó aplicando la ecuación 2. La tabla 23 reporta los resultados obtenidos.

**Tabla 23:** Volumen específico segundo experimento del pan

# Muestras	Muestra	Peso (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Volumen específico (cm <sup>3</sup> /g)
1	B1	218	500	2,29
2	B2	222	485	2,18
3	B3	218	530	2,43
4	B4	224	560	2,50
5	B5	222	490	2,21
6	B6	224	595	2,66
7	B7	221	500	2,26
8	B8	218	510	2,34
9	B9	220	560	2,54
10	B10	226	540	2,38
11	B11	225	580	2,57
12	B12	224	570	2,54
13	B13	222,7	540	2,42
14	B14	221	530	2,39
15	B15	220	565	2,57
16	B16	220	550	2,50
17	B17	218	550	2,52
18	B18	220	570	2,59
SG	SG	219	540	2,47

SG = Pan con harina de amaranto sin germinar

El valor más alto de volumen específico fue obtenido para la muestra 6 (35 °C por 24 h y 30%) (2,66 cm<sup>3</sup>/g), mientras que la muestra 2 (35 °C por 24h y 10%) es la que mostró el menor volumen

específico ( $2,18 \text{ cm}^3/\text{g}$ ). Como se observa, el tiempo y temperatura de germinación son iguales y la diferencia entre los panes con mayor y menor volumen específico, fue únicamente debida al porcentaje de sustitución. Aparentemente, en el caso del pan elaborado con el 10% de sustitución, la cantidad de enzimas activas y/o azúcares reductores producidos, no fue suficiente para producir cantidades considerables de  $\text{CO}_2$  para coadyuvar en el aumento del volumen de la masa y, por ende, del pan; por otro lado, la sustitución del 30% pudo haber aportado con una cantidad suficiente de enzimas amilolíticas activas y, por ende, azúcares reductores para la producción de gas. Quintana, (2020) elaboró un pan tipo bollo con harina de trigo y harinas germinadas de quinua y amaranto; y reportó volúmenes específicos de los panes entre  $1,76$  y  $1,91 \text{ cm}^3/\text{g}$  con porcentajes de sustitución de 25% a 45%, utilizando mezclas de harinas obtenidas a partir de semillas germinadas de amaranto y quinua por 48 horas a  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ . Los volúmenes específicos reportados por Quintana (2020) son mucho menores a los reportados en este trabajo. Callejo (2002) menciona que el volumen específico del pan se relaciona fuertemente con el contenido de proteínas glutínicas en la masa (presencia de harina de trigo), y que el nivel de sustitución influye directamente en características físicas como el peso, volumen específico, porosidad y textura. Las diferencias encontradas entre este trabajo y el de Quintana (2020) posiblemente sean debido al tipo de semilla utilizado (amaranto variedad centenario), los porcentajes de sustitución utilizados y la mezcla amaranto – quinua utilizada por dicho autor. Los panes obtenidos en este trabajo se observan en el anexo 5.

### 3.7.3. Análisis sensorial del pan con harina de amaranto germinado diseño $2^3$ con 6 puntos axiales

Este análisis se realizó de la misma forma que se hizo en el diseño factorial  $2^3$ , se introdujeron los datos en el programa Excel y, una vez calculadas las medianas, se elaboró una matriz (Tabla 24).



**Tabla 24:** Matriz de medianas de las respuestas del diseño de superficie para dos niveles y dos factores, con 4 réplicas centrales y 6 puntos axiales para el pan de amaranto.

Experimento	Visual			Olfativo		Textura			Gustativo						P. Final
	Color miga	Alveolatura	Aspecto	Intensidad	Aroma	Firmeza corteza	Firmeza miga	Granulosidad	Gomosidad	Acidez	Dulzor	Amargor	Regusto	Gusto	
1	6	6	7	6	7	6	6	6	5	5	5	5,5	6	6	6
2	6	6	6	6,5	6,5	6	6	6	6	6	6	6	7	7	6
3	7	6	6,5	5,5	4	5	5,5	5,5	5	5	4,5	4,5	5	5,5	5
4	6	6	6	6	6,5	6,5	6,5	6	6	5,5	6	6	5,5	6	6
5	5,5	6	6	6	6	6	6	6	4	6	5	5,5	5,5	6	6
6	6	6	6	6	5,5	5	5,5	6	5	4,5	5,5	5	6	6	5
7	5,5	4,5	4,5	4	4	5,5	4	4,5	4,5	4	4,5	3,5	3	4	4,5
8	6	5,5	5,5	6	5,5	5,5	6	6	6	5,5	5,5	6	5,5	5	5
9	6	6	7	5	6	5,5	6	6	6	6	6	6	5,5	5	6
10	6,5	6	6,5	6	6	6	6	6,5	6,5	6	6	6	6	6	6
11	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
12	5	4,5	4	5	5	4	4	4	5	5	5	5,5	6	5,5	4,5
13	5,5	6	6	6	5,5	5,5	6	6	5,5	5	5	5,5	5,5	6	5,5
14	6	6	6	5,5	5,5	5,5	5,5	6	6	5,5	5,5	5	5	5	5
15	6,5	6	6,5	6	6	6,5	6	6	6	6	5,5	5	5	5	5,5
16	6,5	6	5,5	5,5	6	5,5	6	6	6	5,5	6	6	6	6	6
17	6	6	6	6	6	6	6	5,5	6	6	6	6	6	6	6
18	7	6	6,5	6	6	6	6	6	6,5	6	5	6	6	6	6

### 3.7.4. Aplicación de modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización de pan con harina de amaranto germinado diseño 2<sup>3</sup> con 6 puntos axiales

Para la optimización del pan se calcularon las medianas de las respuestas obtenidas de su evaluación sensorial en el programa Microsoft Excel. Luego se elaboró una matriz de las medianas (Tabla 24), se agregaron a esa matriz los porcentajes de germinación de las semillas (Tabla 22) utilizadas en cada experimento y el volumen específico de los panes obtenidos de los mismos (Tabla 23). Esos datos fueron introducidos en DART 2.0 y se usaron funciones lineales crecientes, en donde “7” representa el puntaje más alto en las fichas de cata y el más bajo fue el valor de “1” (Anexo 2). Se introdujeron las ponderaciones (Tabla 9) y se obtuvo la respuesta multivariada de utilidad (Tabla 25).

**Tabla 25.** Matriz de las respuestas del diseño factorial 2<sup>3</sup>, con 4 réplicas centrales y 6 puntos axiales para la optimización del pan

Experimentos	Temperatura (° C)	Tiempo (h)	Porcentaje de mezcla (%)	Y (Utilidad)
1	-1	-1	-1	0,698
2	1	-1	-1	0,703
3	-1	1	-1	0,635
4	1	1	-1	0,728
5	-1	-1	1	0,657
6	1	-1	1	0,621
7	-1	1	1	0,465
8	1	1	1	0,637
9	-1	0	0	0,681
10	1	0	0	0,688
11	0	-1	0	0,682
12	0	1	0	0,554
13	0	0	-1	0,664
14	0	0	1	0,626
15	0	0	0	0,663
16	0	0	0	0,676
17	0	0	0	0,688
18	0	0	0	0,695

Temperatura: -1 = 25°C; 0 = 30°C; 1 = 35°C

Tiempo: -1 = 24h; 0 = 48h; 1 = 72h

Porcentaje de mezcla: -1 = 10%; 0 = 20%; 1 = 30%

Los valores de la tabla 25 fueron ingresados en el programa Minitab 17 y se obtuvieron los valor-p para identificar las variables e interacciones significativas para la optimización del pan (Tabla 26).

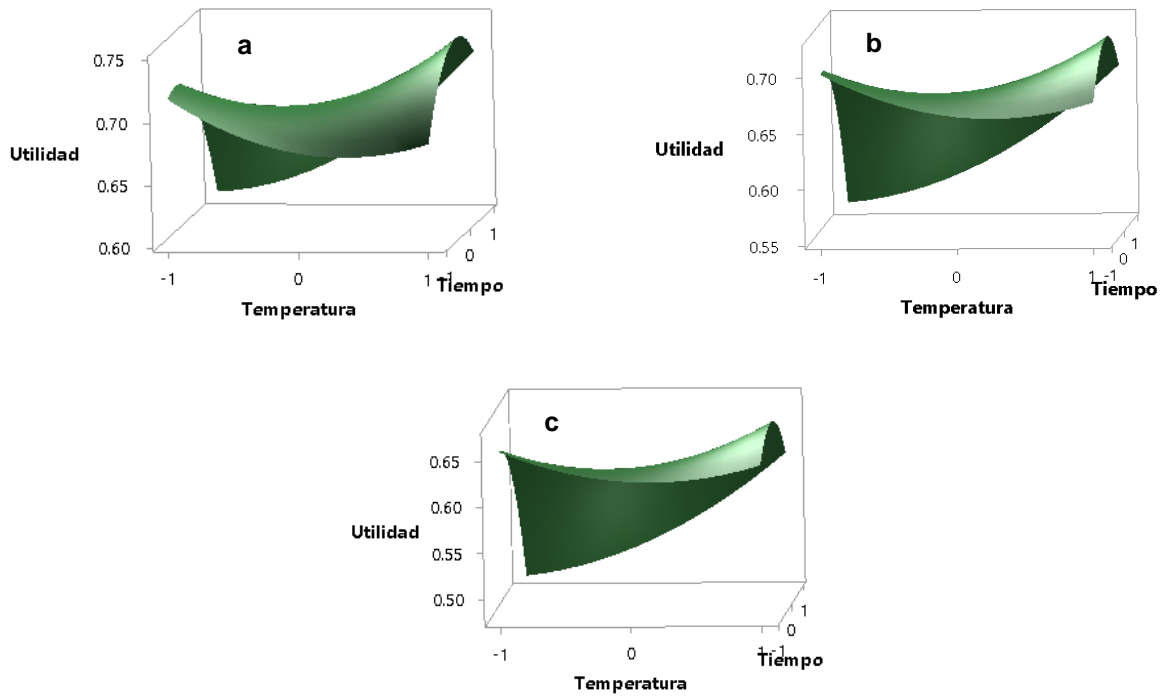
**Tabla 26:** Factores e interacciones

<b>Términos</b>	<b>Valor-p</b>
Temperatura	0,045
Tiempo	0,010
Porcentaje de mezcla	0,003
Temperatura * Temperatura	0,227
Tiempo * Tiempo	0,069
Porcentaje de mezcla * Porcentaje de mezcla	0,494
Temperatura * Tiempo	0,011
Temperatura * Porcentaje de mezcla	0,686
Tiempo * Porcentaje de mezcla	0,167

Los factores e interacciones significativos al 95% de confianza son aquellos con valor-p menores a 0,05 (Tabla 26). En este caso serían la temperatura, tiempo y porcentaje de mezcla. Se obtuvo solo una interacción significativa (temperatura\*tiempo); ninguna de las demás interacciones fue significativa. Los tres factores analizados son significativos para la calidad del pan. La ecuación resultante para el diseño planteado para el pan de amaranto es la ecuación 7.

$$\text{Función de utilidad} = 0,6697 + 0,0241 \text{ Temperatura} - 0,0342 \text{ Tiempo} - 0,0422 \text{ Porcentaje de mezcla} + 0,0370 \text{ Temperatura} * \text{Tiempo.} \quad (\text{Ecuación 7})$$

La ecuación de respuesta del diseño presenta los 3 factores porque todos ellos son significativos, así como la interacción temperatura-tiempo de germinación. Al ser positivo el signo de la temperatura, se puede decir que mientras mayor sea la temperatura de germinación el pan es mejor y, al ser negativos los signos del tiempo de germinación y del porcentaje de mezcla, el pan tenderá a ser mejor mientras estos valores sean menores. En la figura 18 se observa que, a medida que aumenta el porcentaje de sustitución (desde la figura 18a hacia la 18c), la utilidad disminuye. Aunque la figura obtenida es similar a una silla de montar (normal en el campo de los alimentos) se observa que la mayor función de utilidad tiende a presentarse a mayor temperatura (35°C) y con valores de tiempo de germinación cercanos a 0 (48h).



**Figura 18:** Utilidad calculada de las interacciones temperatura – tiempo a diferentes porcentajes de sustitución para el pan

Figuras a, b y c, corresponden a 10, 20 y 30% de sustitución, respectivamente

## CONCLUSIONES

A mayor tiempo de germinación, con temperaturas comprendidas entre (22,93 y 37,07 °C), mayor es el número de semillas germinadas.

Las semillas de Amaranto (*var. Alegría*) requieren 15 minutos en agua a 92 °C para completar su cocción (gelatinización de sus almidones).

De acuerdo al diseño de superficie de respuesta, cuando las semillas de amaranto se germinan a temperaturas entre 20 y 30°C, la única variable significativa es el tiempo, si su destino de uso es el consumo directo, recomendándose que las semillas se germinen entre 30 y 36 horas.

Para la optimización del pan, las 3 variables estudiadas son significativas con un nivel de confianza de 95%.

Durante la optimización del pan, se determinó que, a porcentajes de sustitución entre el 10 y 20%, es preferible una combinación de temperatura que tienda a los 35 °C y tiempos de germinación que tiendan a las 24 horas.

El volumen específico del pan disminuyó a medida que aumentó el porcentaje de sustitución, probablemente debido al debilitamiento de la malla glutínica, por la utilización de harina sin gluten como es el caso de la harina de amaranto germinado.

La aceptabilidad de las semillas germinadas de amaranto y de productos derivados de ellas depende de las condiciones de germinación, así como de su destino de uso.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrahar, D., Zaidi, A. y Dwivedi, S. (2018). Development of gluten free eggless cake using gluten free composite flours made from sprouted and malted ingredients and its physical, nutritional, textural, rheological and sensory properties evaluation. *Journal of food science and technology*, vol. 55, pp. 2621- 2630.
- Aguilar, H. (2012). Perfil de expresión a nivel transcripcional en respuesta a estrés salino en dos especies de amaranto (*Amaranthus cruentus* L. y *Amaranthus hypochondriacus* L.). Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., Tesis de doctoral. <http://hdl.handle.net/11627/2908>.
- Alegbejo, J. (2013). Nutritional value and utilization of *amaranthus* (*Amaranthus spp.*) – a review. *Bayero journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 6, num. 1, pág. 136-143, doi:10.4314/bajopas.v6i1.27.
- Algara, P., Gallegos, J. y Reyes, J. (2013). Amaranto: efectos en la nutrición y la salud. *Tlatemoani, Dialnet*, num. 12, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7324335>
- Alvarez, L., Wijngaard, H., Arendt, E. y Gallagher, E. (2010). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food chemistry*, vol. 119, núm. 2, págs. 770-778
- Aphalo, P., Martínez, E. y Añón, M. (2015). Amaranth Sprouts: A Potential Health Promoting and Nutritive Natural Food. *International Journal of Food Properties*, vol. 18, núm. 12, págs. 2688-2698, doi: 10.1080/10942912.2015.1004585
- Arrieta, A. (2021). Importancia de los germinados para el consumo humano. Universidad de Santander, Tesis de Grado.
- Beteta, C. (2006). Desarrollo de una barra nutritiva con amaranto (*Amaranthus spp.*) y otros productos de la región, Universidad del Valle de Guatemala, Tesis Doctoral.
- Betschart, A., Wood, D., Shepherd, A., Saunders, R. (2006). *Amaranthus Cruentus*: Milling Characteristics, Distribution of Nutrients within seed composition, and the Effects of Temperature on Nutritional Quality. *J. Food Sci. Tech*, vol. 46, págs, 1181-1187.
- Bravo, M., Reyna, J., Gómez, I., Huapaya, M. (2013). “Estudio químico y nutricional de granos andinos: Germinación de quinua (*Chenopodium quinoa*) y Kiwicha (*Amaranthus caudatus*)”. *Revista de Peruana de Química e Ingeniería Química*, vol. 16, núm. 1, págs. 54-60.

- Bressani, R., Sánchez, A. y Morales, E. (1992). Chemical composition of grain amaranth cultivars and effects of processing on their nutritional quality, *Food Reviews International*, vol. 8, núm. 1, págs. 23-49, DOI: 10.1080/87559129209540928
- Callejo, M. (2002). *Industrias de Cereales y Derivados*. Mundiprensa.
- Caselato, V. y Amaya, J. (2012). State of knowledge on amaranth grain: a comprehensive review. *Journal of food science*, vol. 77, núm. 4, págs. R93-R104, <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02645.x>
- Castro, J. y Chía, L. (2020). "Evaluación del aporte nutricional y riesgos para la salud asociados al consumo de germinados". [Trabajo de Grado Especialización, Universidad de Pamplona]. Repositorio Hulago Universidad de Pamplona. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/4301>
- Chaparro, D., Pismag, R., Elizalde, A., Vivas, N., Erazo, C. (2011). Efecto de la germinación sobre el contenido y digestibilidad de proteína en semillas de amaranto, quinua, soya y guandul. *Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias*, vol. 8 núm. 1, págs. 36-42. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v8n1/v8n1a05.pdf>
- Chauhan, A., Saxena, D. y Singh, S. (2015). Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus spp.*) flour. *LWT-Food Science and Technology*, vol. 63, núm. 2, págs. 939-945
- Ciocchini, F. (2013). El amaranto, un cultivo que vuelve, *Contacto Rural*, vol. No. 2, págs. 10-11, <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/63726>
- Contreras, M., Baesler, F., Maldonado, L. (2010). Optimización de las operaciones portuarias mediante simulación y metodología de superficie de respuesta, *Ingeniería Industrial*, No. 2, págs. 73-92.
- Corzo, L., Garduño, L., Sánchez, X., Martínez, J., Cardador, A. y Jiménez, C. (2021). Effect of the consumption of amaranth seeds and their sprouts on alterations of lipids and glucose metabolism in mice, *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 56, núm. 7, págs. 3269-3277
- Criollo, P. y Fajardo, S. (2010). Valor nutritivo y funcional de la harina de amaranto (*Amaranthus hybridus*) en la preparación de galletas. *BS Thesis*. 2010. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2422>
- FAO. "Cultivo Tradicional del Mes". (2022). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, <https://www.fao.org/traditional-crops/amaranth/es/>. Consultado el 5 de abril de 2022.

- Cumbal, V. (2016). Validación del protocolo de control interno de calidad para la producción de semilla de amaranto variedad (INIAP-Alegría), bajo dos tipos de fertilización, CADET, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Tesis de Grado.
- Escandón, L. (2012). Evaluación de tres variantes de amaranto en dos localidades para rendimiento de grano y forraje, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Tesis de grado, <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/3462/IAF1TRE01201.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Espitia, E. (2012). Amaranto: Ciencia y Tecnología. Libro Científico No 2. INIFAPP/SINAREFI. México, págs. 3-27
- Espitia, E. (2016). Etnología del amaranto, Arqueología Mexicana. Vol. 23, núm. 138, págs. 64-70. <http://raices.com.mx/tienda/revistas-amaranto-fuente-de-la-alegria-AM138>
- Espitia, E., Sesma, L., Valverde, M., González, L. Escobedo, D. y Aguilar, M. (2021). Tiene el amaranto el potencial agronómico para ser un fenómeno mundial como la quinua. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 12, núm. 8, págs. 1459-1471.
- Estrella, E. (1986). El pan de América: Etnohistoria de los alimentos aborígenes en el Ecuador. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC*. 2ª ed., págs. 363-390
- Fernández, S. (2020). Diseño de experimentos: Diseño factorial, [Trabajo Final de Máster, Universidad politécnica de Catalunya Barcelonatech] <https://upcpmmons.upc.edu/bitstream/handle>
- Fidalgo Rodríguez JL, Dynarowicz-Latka P, Miñones Conde J. (2020) How unsaturated fatty acids and plant stanols affect sterols plasma level and cellular membranes? Review on model studies involving the Langmuir monolayer technique. *Chem Phys Lipids*; 232(September)
- Gallardo, G. y García, S. (2011). Evaluación de cuatro niveles de materia orgánica en el cultivo de *Amaranthus caudatus* e industrialización del grano para la comunidad de San Clemente-Imbabura. Escuela Politécnica del Ejército, Tesis de Grado,. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/5112/T-ESPE-IASA%20I-004589.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gil, C. (2019). Metodología de superficie de respuesta (RSM). Rpubs.com, [https://rpubs.com/Cristina\\_Gil/RSM](https://rpubs.com/Cristina_Gil/RSM). Consultado el 28 de Octubre del 2022
- Grandes, G. (2015). Caracterización morfológica y evaluación agronómica de 8 líneas de amaranto (*Amaranthus sp.*) provenientes de Rusia en el barrio Tigualo (Salcedo) y en el barrio Las Manzanas (Sigchos). Cotopaxi. 2014, Universidad Técnica de Cotopaxi, Tesis de Grado.



- Guardianelli, L., Salinas, M. y Puppo, M. (2021). Quality of wheat breads enriched with flour from germinated amaranth seeds. *Food Science and Technology International*, vol. 28, núm. 5, págs. 388-396
- Guerrero, C. (2018). Valoración del incremento de proteína del amaranto alegría (*Amaranthus caudatus* L.) en el proceso de germinación. Universidad técnica de Cotopaxi, Tesis de grado. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8512/1/PC-000464.pdf>
- Hauptli H. 1977. Agronomic potential and breeding amaranth. Proc. First Amaranth Semin. Emmaus, Pa.
- Horstmann, S., Atzler, J., Heitmann, M., Zannini, E., Lynch, K. y Arendt, E. (2019). A comparative study of gluten-free sprouts in the gluten-free bread-making process. *European Food Research and Technology*, vol. 245, núm. 3, págs. 617-629. doi: 10.1007/s00217-018-3185-2
- Huerta, A. y Barba, P. (2011). Amaranth: A pseudo-cereal with nutraceutical properties. *Current Nutrition & Food Science*, vol. 7, núm. 1, págs. 1-9
- Iza, J., Porras, N. (2019). Diseño y construcción de una máquina trilladora de amaranto, para el Campus de Salache en la Universidad Técnica de Cotopaxi. Universidad Técnica de Cotopaxi, Tesis de grado. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5689/1/PI-001145.pdf>
- Jiménez, L., González, M., Bastidas, M. y Decker, F. (2018). Evaluación del rendimiento de tres sistemas de siembra y dos variedades de amaranto (*Amaranthus quitensis*) y (*Amaranthus hypochondriacus*). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, JSAB, vol. 6, núm. 2, págs. 65-75
- Jiménez, Z. y López, T. (2019). Desarrollo de una formulación en polvo a base de amaranto (*Amaranthus cruentus*) y canela (*Cinnamomum sp*) sabor chocolate. Universidad Autónoma de Barcelona, Tesis de doctorado, Departamento de Ciencias Animales y de los Alimentos
- Juan, R., Pastor, J., Alaiz, M., Mejías, C. y Vioque, J. (2007). Caracterización de proteínas de semillas de once especies de amaranto. *Grasas y Aceites*, vol. 58, núm. 1, págs. 49-55. doi:10.3989/gya.2007.v58.i1.8.
- Lara, N. (1999) Investigación y desarrollo de un nuevo producto basado en amaranto reventado *Amaranthus caudatus*. *Estación Experimental Santa Catalina*. Quito, Ecuador. Vol. 3, núm. 6, pág. 33
- Larmond, E. (1977). Laboratory Methods for Sensory Evaluation of food. Research Branch, Canada Department of Agriculture, Publicación, núm. 1637, págs. 19-63
- Loma, R. (2017). Evaluación del rendimiento de amaranto (*Amaranthus quitensis*) en asociación con leguminosas. Universidad Técnica de Ambato, Tesis de Grado, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

- Luis, G., Hernández, B., Peña, V., Torres, N., Espinoza, V. y Ramírez, L. (2018). Current and potential uses of Amaranth (*Amaranthus spp.*), *Journal of negative & no positive results*, vol. 3, núm. 6, págs. 423-436
- Mapes, C. (2010). El Amaranto (*Amaranthus spp.*) planta originaria de México, *AAPAUNAM Academia, Ciencia y Cultura*. Págs. 217-222
- Marques, L., Silva, P., Martins, J., Pinheiro, A. y Vicente, A. (2018). Emerging opportunities in exploring the nutritional/functional value of amaranth. *Food & Function* (RSC Publishing). <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/fo/c8fo01422a/unauth>
- Martínez, E. (2008). Efecto de extractos bacterianos sobre la germinación de semillas de malezas. Instituto Politécnico Nacional, Tesis de grado. México.
- Martines, E. y Lira, L. (2010). Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos. *Centro Nacional de Metrología*, Recuperado 4 de marzo de 2023, de <https://www.cenam.mx/sm2010/info/pviernes/sm2010-vp01b.pdf>
- Mejía, A. (2003). "Evaluación del tiempo de vida útil y estabilidad de las propiedades de calidad del grano reventado de amaranto y sus dos productos". Universidad Técnica del Norte, Título de grado, <https://books.google.com.ec/books?id=1IMzAQAAMAAJ&pg=PA17&dq=caracteristicas+fisicas+del+amaranto&hl=es419&sa=X&ved=2ahUKEwiM4fTartZAhWJQjABHe3kAiMQ6AF6BAgEEAI#v=onepage&q=caracteristicas%20fisicas%20del%20amaranto&f=false>
- Mendoça, S., Saldivab, P., y Cruzc, R. y Arêas, J. (2009). Amaranth protein presents cholesterol-lowering effect. *Food Chemistry*, vol. 116, núm. 3, págs. 738-742
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). (2014). Coordinación General del Sistema de Información Nacional. Zonificación agroecológica económica del cultivo de amaranto (*Amaranthus spp.*) en el Ecuador a escala 1:250.000. [Resumen Ejecutivo en la internet] 2014 ene [citado 2021 mayo 3 mayo ág. 12, Disponible en: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/zae/amaranto.pdf>.
- Monteros, J., Nieto, C., Caicedo, V., Rivera, M. y Vimos, N. (1994). "INIAP Alegría": Primera variedad mejorada de amaranto para la Sierra ecuatoriana. Quito, Ecuador: INIAP, Estación experimental Santa Catalina, *Programa de Cultivos Andinos*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/handle/41000/141>

- Mujica, A., Berti, M. y Izquierdo, J. (1997). El cultivo de amaranto (*Amaranthus spp.*) Producción, mejoramiento genético y utilización. *Oficina regional de la FAO para América latina*. Disponible en <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro01/home1.htm>.
- Najdi, S. y Orsat, V. (2017). Optimization of the malting process for nutritional improvement of finger millet and amaranth flours in the infant weaning food industry. *International journal of food sciences and nutrition*, vol. 68, núm. 4, págs. 429-441. <https://doi.org/10.1080/09637486.2016.1261085>
- Nieto, C. (1989). El cultivo de Amaranto *Amaranthus spp* una alternativa agronómica para Ecuador. Estación experimental "Santa Catalina", INIAP Unidad de Documentación e Información Técnica Agropecuaria INIAP. Quito- Ecuador
- Norma Técnica Ecuatoriana. (2012). *Granos y Cereales. Grano de Amaranto. Requisitos e Inspección NTE INEN 2646:AG 05.04-416*) <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2646.pdf>
- Núñez, J., Quispe, E. y Robles, E. (2019). Efecto de un programa alternativo para el tratamiento de anemia por deficiencia de hierro en niños y niñas a 12 a 35 meses de edad, centro de salud Alto Selva Alegre, Arequipa 2015. *Veritas*, vol. 20, núm. 2, págs. 75-86. doi:10.35286/veritasv20i2.248
- Ogrodowska, D., Zadernowski, R., Czaplicki, S., Derewiaka, D., Wronowska, B. (2014). Semillas y productos de amaranto: la fuente de compuestos bioactivos. *Revista polaca de ciencias de la alimentación y nutrición*, vol. 64, núm. 3, págs. 165-170. <https://doi.org/10.2478/v10222-012-0095-z>
- Omami, E., Hammes, P. y Robbertse, P. (2006). Diferencias en la tolerancia a la salinidad para el crecimiento y eficiencia del uso del agua en algunos genotipos de amaranto (*Amaranthus spp.*), *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, vol. 34, núm. 1, págs. 11-22
- Ortiz, J. (1995). Desarrollo de un alimento para niños lactantes a base del grano de amaranto (*Amaranthus cruentus*). Universidad del Valle de Guatemala, Tesis de grado
- Paucar, L., Simpalo, W., Castillo, W., Esquivel, L. y Martínez, C. (2022). Reformulating Bread Using Sprouted Pseudo-cereal Grains to Enhance Its Nutritional Value and Sensorial Attributes. *Alimentos*, vol. 11, núm. 11, pág. 1541
- Peralta, E. (2010). Producción y distribución de semillas de buena calidad con pequeños agricultores de granos andinos: chocho, quinua, amaranto. Publicación Miscelánea No. 169.
- Peña, G. y Ariza, A. (2021). Amaranto, lípidos y su efecto en las dislipidemias. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma de Estado de Hidalgo*, vol. 10, núm. 19, págs. 160-172

- Pérez, C., y Luzuriaga, O. (2010). Caracterización de la Harina de Semillas de Amaranto *Amaranthus Caudatus* para Elaboración de Pan en Mezclas con Harina de Trigo. Química Central, *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central*, vol. 1, núm. 1, págs. 61-70.
- Pérez, I., Sotelo, A., López, G. y Martínez, M. (2022). Amaranth Seeds and Sprouts as Functional Ingredients for the Development of Dietary Fiber, Betalains, and Polyphenol-Enriched Minced Tilapia Meat Gels. *Molecules*. vol. 28, núm 1, pág. 117
- Pita, J., Pérez, F. (1998). Germinación de semillas, *Hojas Divulgadoras.: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. Vol. 2090, Recuperado de: [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1998\\_2090.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1998_2090.pdf)
- Quintana, J. (2020). Elaboración y caracterización fisicoquímica de pan con sustitución parcial de harina de trigo por harina de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus l.*) germinadas. Universidad José María Arquedas, Perú, Tesis de grado, [https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14168/655/Jhomira\\_Tesis\\_Bachiller\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14168/655/Jhomira_Tesis_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rojas, W., Soto, L., Pinto, M., Jäger, M. y Padulosi, S. (2010). Granos Andinos avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañihua y amaranto en Bolivia. *Bioversity International*, pág. 191
- Ruiz, A. y Bressani, R. (1990). Effect of germination on the chemical composition and nutritive value of amaranth grain. *Cereal chemistry*, vol. 67, núm. 6, págs. 519-522.
- Sánchez, C. (2007). Caracterización fisicoquímica y nutracéutica de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) cultivado en San Luis Potosí. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnología, Tesis de Doctorado, A.C.]. IPICYT <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/767/3/TDIPICYTS5C32007.pdf>
- Sánchez, M., Gutiérrez, R., Cuevas, E., Milán, J., Perales, J. y Reyes, C. (2018). Propiedades Fisicoquímicas y Nutracéuticas de Granos Integrales (Amaranto/Chía) Procesados en Condiciones Óptimas de Germinación. vol. 3, págs. 639-644
- Sandoya, F. (2007). Matemáticas Actuariales y Operaciones de seguros; segunda edición; ISBN: 978-9978-310-46-5; ESPOL
- Sarmiento, W. y Pachari, E. (2022). Impacto de la germinación en los compuestos bioactivos de dos ecotipos de kiwicha de granode color negro y rosado (*Amaranthus caudatus. L*). Revista chilena de nutrición, vol. 49, núm. 6, <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182022000700723>

- Solano, M. (2018). Elaboración y evaluación de una bebida alcohólica de amaranto (*Amaranthus sp.*). Tesis de titulación: Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. México
- Suárez, P., Gallegos, J., Reyes, J. (2013). Amaranto: Efectos en la Nutrición y la Salud. *TLATEMOANI Revista Académica de Investigación* núm. 12, págs. 2-21. <http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/index.htm>
- Torres, A., Cova, U. y Valeria, D. (2018). Efecto del proceso de germinación de granos de Cajanuscana en la composición nutricional, ácidos grasos, antioxidantes y bioaccesibilidad mineral. *Revista Chilena de Nutrición*, vol. 45, núm. 4, <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182018000500323>
- Vásquez, F., Verdú, S., Islas, A., Barat, J. y Grau, R. (2016). Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) sobre las propiedades reológicas de la masa y texturales del pan. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 17, núm. 2, págs. 307-317
- Vega, Ó., De Marco, R. y Di Risio, C. (2015). Propiedades físicas y sensoriales de un pan fresco, con la adición de las enzimas Lacasa, Xilanasa y Lipasa. *Revista EIA*, vol. 12, núm. 24, págs. 87-100. <https://doi.org/10.24050/reia.v12i24.876>
- Wood, G. (2017). Evaluation of Cooking Time in Pulses: A Review. *Cereal Chemistry*, vol. 94, núm. 1, págs. 32-48. DOI:10.1094/CCHEM-05-16-0127-FI

## ANEXOS

### Anexo 1: Ficha de catación de las semillas de amaranto

<b>Ficha de catación-sensorial para semillas de amaranto.</b>							
Agradezco su ayuda para realizar la degustación de semillas de amaranto. 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.							
<b>Muestra</b>					<b>Fecha</b>		
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)							
<b>Escala hedónica</b>							
<b>Caract erísticas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
	<b>M e disgusta mucho</b>	<b>Me disgusta moderada mente</b>	<b>Me disgusta poco</b>	<b>No me gusta ni me disgusta</b>	<b>M e gusta poco</b>	<b>Me gusta moderada mente</b>	<b>Me gusta mucho</b>
<b>Visual</b>							
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>Aspecto</b>							
<b>Olfativo</b>							
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>Intensidad</b>							
<b>Aroma</b>							
<b>Gustativo</b>							
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>Gomosidad</b>							
<b>Suavidad</b>							
<b>Acidez</b>							
<b>Dulzor</b>							
<b>Amargor</b>							
<b>Astringencia</b>							
<b>Regusto</b>							
<b>Gusto</b>							
<b>Impresión global de la semilla</b>							
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>Aceptabilidad general</b>							

**Anexo 2:** Ficha de catación para el pan con harina de amaranto

<b>Ficha de catación-sensorial para pan con harina de Amaranto.</b>								
Agradezco su ayuda para realizar la degustación de pan con harina de amaranto. 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			
<b>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)</b>								
<b>Escala hedónica</b>								
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	
<b>Visual</b>								
	1	2	3	4	5	6	7	
Color de la miga								
Alveolatura								
Aspecto								
<b>Olfativo</b>								
	1	2	3	4	5	6	7	
Intensidad								
Aroma								
<b>Textura</b>								
	1	2	3	4	5	6	7	
Firmeza corteza								
Firmeza miga								
Granulosidad								
<b>Gustativo</b>								
	1	2	3	4	5	6	7	
Gomosidad								
Acidez								
Dulzor								
Amargor								
Regusto								
Gusto								
<b>Impresión global del pan</b>								
	1	2	3	4	5	6	7	
Aceptabilidad general								

### **Anexo 3:** Indicaciones para la ficha de catación de las semillas de amaranto

#### **Instrucciones para la ficha de catación-sensorial para semillas de amaranto**

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.

**Fuente:** Elaboración propia



#### **Anexo 4: Instrucciones para la ficha de catación del pan con harina de amaranto**

##### **Instrucciones para la ficha de catación-sensorial para pan con harina de amaranto**

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.

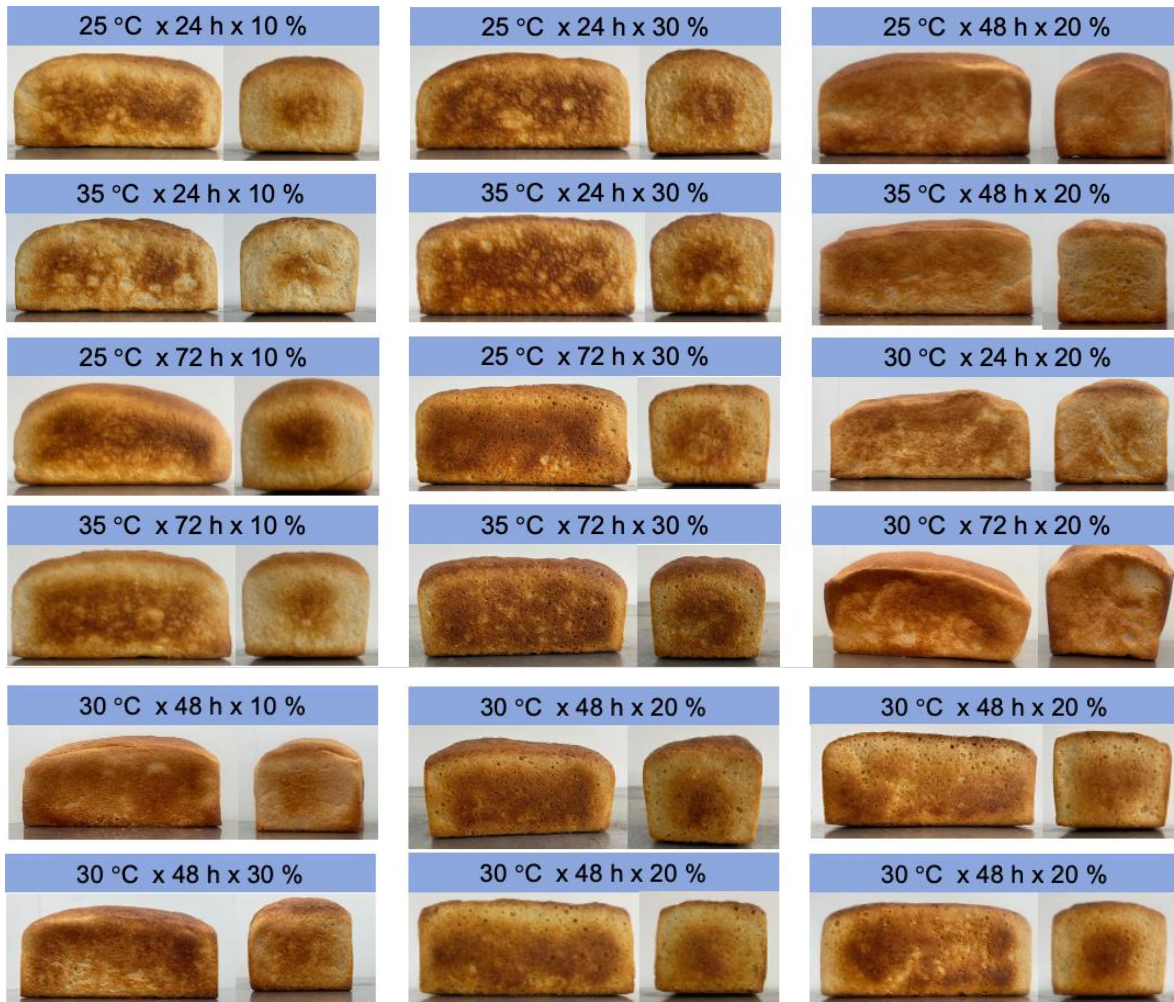
- **Gomosidad, acidez, dulzor y amargor:** Marque de acuerdo a los niveles indicados, si le gusta o le disgusta.

**Nota:** Para realizar la valoración del parámetro regusto, tómesese 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.

**Fuente:** Elaboración propia

**Anexo 5** Panes obtenidos bajo las condiciones experimentales



**Fuente:** Elaboración propia