



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería en Alimentos

**“Aplicación de diseño experimental en la desinfección de semillas de
quinua y amaranto para la germinación de semillas con fines de consumo
humano”**

Trabajo de grado previo a la obtención del título de:

Ingeniera en Alimentos

Autor:

Alicia Estefania Illescas Cárdenas

Director:

Dr. Diego Patricio Suárez Estrella

Cuenca, Ecuador

2024

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación dedico a Dios, por brindarme su fortaleza, esperanza y amor para no darme por vencida durante el trayecto de mi carrera, por motivarme cada día y enseñarme a no desfallecer frente a las dificultades de la vida. A mis padres, Alicia y Rafael, por ser mi ejemplo a seguir, apoyarme incondicionalmente y ser una de las razones para alcanzar esta meta. A mis hermanas, Verónica y Gabriela por ser los seres más hermosos que pudo brindarme Dios para llenarme de motivación e inspiración.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por ser el pilar de mi vida, llenarme de salud, amor, sabiduría y experiencias que me han llevado a ser la persona que hoy soy. Le agradezco por mis padres, quienes me guiaron y fomentaron a través de su amor hacía una vida junto a él, el conocerlo me ha permitido ver su reflejo en cada cosa que hago y entrego hacia los demás. Agradezco la confianza, amor y comprensión que mis padres y hermanas pusieron en mí durante esta etapa de mi vida, por acompañarme en los momentos felices y tristes.

Expreso mis más sinceros agradecimientos a mi Director de Tesis, Dr. Diego Suárez y a la Ing. Marisol Jara, por compartir sus conocimientos y apoyo en el trayecto de elaboración de este trabajo de titulación. Muchas gracias por el tiempo, la paciencia, así como las palabras de aliento frente a las adversidades que podemos enfrentar en el mundo laboral y en la vida misma. A mis docentes, por darnos las pautas, conocimientos y principios de formación profesional impartidos a lo largo de esta carrera.

De igual manera, agradezco a Daniela Ortiz y Sandra Isabel Pérez por la amistad consolidada durante los años de estudio, las tristezas, las risas, así como los momentos inolvidables que los llevaré siempre presentes en mi corazón. Agradezco a Karol Zavala y Ana Culcay, porque desde la distancia me han motivado y acompañado.

Finalmente, agradezco a la Universidad del Azuay y a la Escuela de Ingeniería en Alimentos por haberme acogido en su aulas y laboratorios.

“Aplicación de diseño experimental en la desinfección de semillas de quinua y amaranto para la germinación de semillas con fines de consumo”

RESUMEN

La quinua y el amaranto son pseudocereales, palabra que proviene de la adición del prefijo “pseudo” (falso o parecido) a la palabra “cereal”. Son granos andinos con altos contenidos de proteínas, carbohidratos, fibra, vitaminas, minerales y que al ser sometidos a procesos de germinación poseen mayor cantidad de micronutrientes más biodisponibles. Sin embargo, las condiciones ambientales durante el proceso de germinación son propicias para el desarrollo microbiológico y existe el riesgo de contaminación por microorganismos patógenos. Por ello, en este estudio se evaluaron diferentes desinfectantes (ácido láctico, ácido acético, etanol, sorbato de potasio y benzoato de sodio) y sus concentraciones para encontrar el mejor tratamiento para la optimización de las condiciones de desinfección para la germinación de las semillas quinua (var. INIAP Excelencia) y amaranto (var. Alegría), en función de la disminución de la carga microbiana y la no afectación a la capacidad germinativa de las semillas, ni a la aceptabilidad por parte de los consumidores. Concluyendo que en las semillas de amaranto la capacidad germinativa es nula a elevadas concentraciones de ácido láctico (0.5%), y la quinua a concentraciones elevadas o menores de etanol y sorbato de potasio son significativas en la reducción de la carga microbiana.

Palabras clave: Quinua, amaranto, desinfección, capacidad germinativa, carga microbiana, análisis sensorial.

“Application of experimental design in the disinfection of quinoa and amaranth seeds for germination to consumption purposes”

ABSTRACT

Quinoa and amaranth are pseudocereals, that means “false cereal”. They are Andean grains with high contents of proteins, carbohydrates, fiber, vitamins, minerals and, when subjected to germination processes, they have a greater amount of more bioavailable micronutrients. However, environmental conditions during the germination process are conducive to microbiological development, and there is a risk of contamination by pathogenic microorganisms. Therefore, in this study, different concentration of disinfectants (lactic acid, acetic acid, ethanol, potassium sorbate and sodium benzoate) were assessed to find the best treatment for the optimization of disinfection allowing the germination of quinoa (var. INIAP Excelencia) and amaranth (var. Alegría) seeds, in terms of the reduction of the microbial load and no effect on the germination capacity of the seeds, nor on their acceptability to consumers. Concluding that, in amaranth seeds, the germination capacity was null at high concentrations of lactic acid (more than 0.5%), while for quinoa at high or lower concentrations of ethanol and potassium sorbate are significant in the reduction of the microbial load.

Keywords: Quinoa, amaranth, disinfection, germination capacity, microbial load, sensory analysis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----|
| DEDICATORIA | i |
| AGRADECIMIENTOS | ii |
| RESUMEN | iii |
| ÍNDICE DE IMÁGENES | ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS | ix |
| ÍNDICE DE ANEXOS | x |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPITULO I | 1 |
| 1.1. Amaranto | 2 |
| 1.1.1 Características nutricionales del amaranto | 2 |
| 1.1.1.1 Proteínas | 3 |
| 1.1.1.2 Grasa | 3 |
| 1.1.1.3 Fibra | 4 |
| 1.1.1.4 Carbohidratos | 4 |
| 1.1.2 Composición del grano de amaranto | 4 |
| 1.2. Quinua | 5 |
| 1.2.1 Características nutricionales de la quinua | 6 |
| 1.2.1.1 Proteína | 6 |
| 1.2.1.2 Carbohidratos | 7 |
| 1.2.1.3 Grasa | 7 |
| 1.2.1.4 Fibra | 8 |
| 1.2.1.5 Saponinas | 8 |
| 1.3 Desinfectantes | 8 |
| 1.3.1 Alternativas de desinfección para semillas germinadas | 9 |
| 1.3.1.1 Ácido láctico | 9 |
| 1.3.1.2 Ácido acético | 10 |
| 1.3.1.3 Etanol | 10 |
| 1.3.1.4 Sorbato de potasio | 10 |
| 1.3.1.5 Benzoato de sodio | 11 |

| | | |
|-------------------------------------|---|----|
| 1.4 | Germinación de las semillas | 11 |
| 1.4.1 | Factores externos:..... | 12 |
| 1.4.1.1 | Agua: | 12 |
| 1.4.1.2 | Temperatura: | 12 |
| 1.4.2 | Factores internos: | 13 |
| 1.4.2.1 | Madurez de la semilla: | 13 |
| 1.4.2.2 | Viabilidad de la semilla:..... | 13 |
| 1.5 | Mejora en las propiedades nutricionales y medicinales en las semillas germinadas | 13 |
| 1.5.1 | Enfermedades ligadas a la contaminación de semillas germinadas | 13 |
| CAPÍTULO II | | 15 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | | 15 |
| 2.1 | Materiales | 15 |
| 2.2 | Métodos | 15 |
| 2.2.1 | Limpieza y caracterización granulométrica..... | 15 |
| 2.2.1.1 | Semillas de quinua | 15 |
| 2.2.1.2 | Semillas de amaranto | 15 |
| 2.2.2 | Aplicación de modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización de las condiciones de desinfección para la germinación de las semillas de quinua y amaranto | 16 |
| 2.2.3 | Desinfección para la germinación de semillas | 18 |
| 2.2.3.1 | Evaluación de desinfectantes..... | 18 |
| 2.2.4 | Proceso de germinación | 18 |
| 2.2.4.1 | Semillas de quinua | 18 |
| 2.2.4.2 | Semillas de amaranto | 20 |
| 2.2.5 | Determinación del porcentaje de germinación de quinua | 21 |
| 2.2.6 | Molienda de las semillas para análisis microbiológico | 22 |
| 2.2.7 | Análisis microbiológico de las semillas de quinua y amaranto..... | 23 |
| 2.2.8 | Análisis sensorial y fichas de cata..... | 24 |
| 2.2.9 | Análisis estadístico | 24 |
| 2.2.10 | Análisis de microorganismos patógenos en la muestra optimizada de quinua germinada..... | 25 |
| CAPÍTULO III | | 26 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | | 26 |
| 3.1 | Limpieza y caracterización granulométrica | 26 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 3.1.1 | Semillas de quinua | 26 |
| 3.1.2 | Semillas de amaranto | 26 |
| 3.2 | Porcentaje de germinación | 28 |
| 3.2.1 | Semillas de quinua | 28 |
| 3.2.2 | Semillas de amaranto | 31 |
| 3.3 | Análisis microbiológico..... | 32 |
| 3.3.1 | Semillas de quinua | 32 |
| 3.4 | Análisis sensorial | 35 |
| 3.4.1 | Semillas de quinua germinadas | 35 |
| 3.5 | Aplicación de modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización de las condiciones de desinfección para la germinación de las semillas de quinua..... | 38 |
| 3.6 | Análisis de microorganismos patógenos en la muestra optimizada de quinua germinada | 40 |
| CONCLUSIONES | | 41 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 42 |
| ANEXOS | | 57 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Composición porcentual de las semillas de amaranto | 2 |
| Tabla 2. Porcentaje de ácidos grasos presentes en variedades de amaranto..... | 3 |
| Tabla 3. Composición química promedio de la quinua con algunos cereales (g 100 g ⁻¹ peso seco)..... | 6 |
| Tabla 4. Contenido proximal de ácidos grasos en la quinua y en cereales (g/100 g de porción comestible) | 8 |
| Tabla 5. Diseño experimental de Plackett-Burman con 5 variables | 16 |
| Tabla 6. Condiciones de aplicación de los desinfectantes a las semillas de quinua..... | 17 |
| Tabla 7. Condiciones de aplicación de los desinfectantes a las semillas de amaranto | 17 |
| Tabla 8. Condiciones de incubación..... | 23 |
| Tabla 9. Ponderación de cada atributo sensorial de las semillas de quinua germinada..... | 25 |
| Tabla 10. Resultados granulométricos de la var. INIAP Excelencia..... | 26 |
| Tabla 11. Resultados granulométricos de la var. Alegría..... | 27 |
| Tabla 12. Clasificación de los tres grados de calidad del amaranto | 27 |
| Tabla 13. Porcentaje de germinación de las semillas de quinua | 28 |
| Tabla 14. Recuento de mesófilos totales, mohos y levaduras de las semillas de quinua | 32 |
| Tabla 15. Matriz de las medianas de las respuestas sensoriales de las semillas de quinua germinada | 37 |
| Tabla 16. Matriz de respuestas de deseabilidad para las semillas de quinua | 38 |
| Tabla 17. Análisis de varianza del modelo de regresión para el diseño con función de deseabilidad al 90% | 39 |

ÍNDICE DE IMÁGENES

| | |
|---|----|
| Imagen 1. Determinación de masa hectolítrica de semillas de amaranto | 16 |
| Imagen 2. Semillas en fase de germinación | 19 |
| Imagen 3. Deshidratado de las semillas..... | 19 |
| Imagen 4. Almacenamiento de las semillas de quinua..... | 20 |
| Imagen 5. Semillas de amaranto en fase de germinación..... | 20 |
| Imagen 6. Almacenamiento de las semillas de amaranto..... | 21 |
| Imagen 7. Escaneo de semillas germinadas de quinua..... | 21 |
| Imagen 8. Molienda de semillas germinadas y empaquetado | 22 |
| Imagen 9. Semillas cocidas de quinua germinada..... | 24 |
| Imagen 10. Resultados del tratamiento con ácido láctico en el crecimiento de plántulas del cultivar de mijo dactilar (GPU-28)..... | 30 |
| Imagen 11. Resultados del tratamiento con ácido láctico en la germinación de semillas de amaranto | 32 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|---|
| Figura 1. Imágenes de microscopía electrónica de barrido de semillas de <i>A. hypocondriacus</i> | 5 |
|---|---|

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| Anexo 1. Muestras de semillas de quinua germinadas bajo las diferentes condiciones experimentales | 57 |
| Anexo 2. Semillas de amaranto colocadas bajo las diferentes condiciones experimentales | 58 |
| Anexo 3. Indicaciones de la ficha de cata para semillas de quinua germinada..... | 59 |
| Anexo 4. Ficha de catación-sensorial para semillas de quinua germinada | 60 |

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I

Entre los granos andinos más comunes encontramos a la quinua (*Chenopodium quinua*), la cañahua o kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*), el amaranto (*Amaranthus caudatus*) y el chocho (*Lupinus mutabilis*) (Giuliani et al., 2012). La quinua y el amaranto son pseudocereales, palabra que proviene de la adición del prefijo “pseudo” (falso o parecido) a la palabra “cereal”, así, los pseudocereales son semillas o frutos de plantas no gramíneas (cereales) que comparten ciertas características con los cereales y son consumidos de la misma manera, es decir, como granos o en forma de harinas usados para la elaboración de diferentes productos. La principal diferencia entre cereales y pseudocereales es que los primeros pertenecen a las gramíneas y son monocotiledóneas, mientras que los segundos pertenecen a diferentes familias y son dicotiledóneas (Prado, 2020; Menacho et al., 2022).

La quinua y el amaranto se caracterizan por su: valor nutricional, variedad de usos alimentarios y la capacidad de la planta para adaptarse a entornos adversos como sequías y tierras con salinidad elevada (Giuliani et al., 2012). Son granos andinos con un valor cultural e histórico destacable en la región andina y en la construcción de sus sistemas productivos agrícolas. Además, son muy apreciados por sus propiedades nutricionales, que contribuyen a la seguridad alimentaria andina (Peralta et al., 2013; Anaya et al., 2022). Entre las características de los granos andinos se incluye su alto contenido de proteínas, ácidos grasos poliinsaturados, carbohidratos, fibra, vitaminas, minerales y concentraciones altas de compuestos bioactivos (ácidos fenólicos, péptidos bioactivos, flavonoides, fitoesteroides, fitoesteroles y saponinas) (Peralta et al., 2013; Anaya et al., 2022). Granos andinos como la quinua y el amaranto presentan propiedades antidiabéticas, antiinflamatorias, antioxidantes, antimicrobianas, inmunorreguladoras, anticancerígenas, cardiosaludables y favorables en la disminución de los niveles de colesterol, además son granos libres de gluten, característica importante para personas con intolerancia al mismo (Peralta et al., 2013; Anaya et al., 2022). Actualmente, se ha evidenciado un notable incremento en el consumo de pseudocereales originarios de la región Andina de Sudamérica, dicho fenómeno es atribuido al paulatino incremento de la valoración de sus características nutricionales y nutraceuticas (alimento que

ejerce una acción benéfica a la salud de su consumidor), además de su carencia de gluten (Martínez-Villaluenga et al., 2020).

1.1. Amaranto

El amaranto (*Amaranthus caudatus*) proviene de la familia *Amaranthaceae*, es conocido comúnmente como ataco, kiwicha, sangorache o quinua de castilla (Basantes et al., 2022; Das, 2016). Existen dos corrientes de pensamiento respecto a su origen. La primera dice que es una planta originaria de América Central (México y países limítrofes), que fue introducida a España en el siglo XVI y, posteriormente, diseminada por toda Europa (Iftikhar & Khan, 2019). La segunda corriente dice que el amaranto es original del Sur de Asia y, seguramente, con el pasar del tiempo fue domesticado. Un estudio comparativo acerca de los granos de amarantáceas en América Central y la India demostró una gran analogía en la distribución de las especies, el patrón de variedades, la evolución y las prácticas de cultivo (Das, 2016). Aproximadamente, existen 60 especies y sus granos son empleados en el procesamiento de harinas, bebidas e, inclusive, alcohol (Iftikhar & Khan, 2019).

El cultivo de amaranto se considera promisorio, entre otras razones, por su eficiente vía de fotosíntesis y por su bajo requerimiento de agua en comparación con los cereales (Bender & Schönlechner, 2021; Guerrero-Salazar, 2020).

1.1.1 Características nutricionales del amaranto

La composición del amaranto (Tabla 1), se caracteriza por proteínas y lípidos de buena calidad, así como una mayor cantidad de minerales respecto a los cereales. Posee una cantidad equilibrada de aminoácidos esenciales, destacando la lisina, que es el principal aminoácido limitante de los cereales (Aderibigbe et al., 2022). Asimismo, contiene compuestos bioactivos como licopeno, polifenoles, ácidos fenólicos, ácidos grasos insaturados, péptidos solubles, flavonoides y betacaroteno en altas concentraciones, capaces de aliviar y prevenir condiciones como la diarrea y el estreñimiento; es una fuente importante de vitaminas (A, B1, B2, B3 y C) (Basantes et al., 2022).

Tabla 1. Composición porcentual de las semillas de amaranto

| Composición | Amaranto |
|-------------|----------|
|-------------|----------|

| | |
|-------------------|-----------|
| Humedad | 8-11 |
| Proteína | 13-19 |
| Grasa | 5-13 |
| Almidón | 62-74 |
| Cenizas | 2.14-2.91 |
| Fibra alimentaria | 9 |

Fuente: (Martinez-Lopez et al., 2020).

1.1.1.1 Proteínas

Las proteínas del amaranto están compuestas por un 65% de albúmina, 17% globulina, 11% prolamina y 7% glutelina (Coelho et al., 2018). Las globulinas 11S comprenden el 13.7-18.1% del contenido proteico total de la semilla y son fuente proteica con elevadas cualidades nutricionales. De acuerdo con la FAO, estas globulinas disponen de un excelente balance de aminoácidos esenciales, satisfaciendo así las necesidades nutricionales. Por el contrario, las globulinas 7S se encuentran en menor proporción y han sido estudiadas de manera más limitada. Las globulinas 7S y 11S poseen ciertas similitudes en sus propiedades y en la capacidad de formar estructuras (Bojórquez-Velázquez et al., 2021).

1.1.1.2 Grasa

En el amaranto encontramos lípidos simples dentro de los cuales se hallan alcoholes terpénicos, ceras, ácidos grasos saturados como el palmítico (C16:0), esteárico (C18:0); ácidos grasos insaturados como: ácido vaccénico (C18:1) y ácido linoleico o C18:2 (Cano-Naranjo, 2022) (Tabla 2).

Tabla 2. Porcentaje de ácidos grasos presentes en variedades de amaranto

| Variedad | Saturados | | | Insaturados | | | Total |
|--------------------------|-----------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|
| | C16:0 | C18:0 | Total | C18:1 | C18:2 | C18:3 | |
| <i>A. hypocondriacus</i> | 18.1 | 4.6 | 23.0 | 26.7 | 49.4 | 0.9 | 77.0 |
| <i>A. cruentus</i> | 20.3 | 3.8 | 27.9 | 19.4 | 51.4 | 1.3 | 72.1 |
| <i>A. caudatus</i> | 19.4 | 3.8 | 23.2 | 25.3 | 50.9 | 0.6 | 76.8 |

Fuente: (Sisti, 2020).

1.1.1.3 Fibra

La fibra dietética es definida como la parte comestible de los hidratos de carbono, que es resistente a la absorción y digestión en el intestino delgado, experimentando una fermentación parcial o completa en el intestino grueso. La fibra dietética puede ser: soluble, la cual producirá soluciones de alta viscosidad al entrar en contacto con el agua e, insoluble, que retiene agua en su matriz estructural, formando mezclas de baja viscosidad que acelera el tránsito intestinal (Escudero Álvarez & González Sánchez, 2006).

Los porcentajes de fibra reportados pueden variar considerablemente, pues es necesario considerar la cantidad de capas exteriores del grano que se están utilizando para obtener dicho porcentaje. El contenido de fibra suele oscilar entre el 3.1-5.0%, pero en hay casos en los que alcanza hasta el 6.6% (Jan et al., 2023). En cuanto a la fibra dietética soluble, se encuentra entre 2.20-5.61%, fibra dietética insoluble 7.4-12.64% y fibra dietética total 1.8-37.6% (Malik et al., 2023).

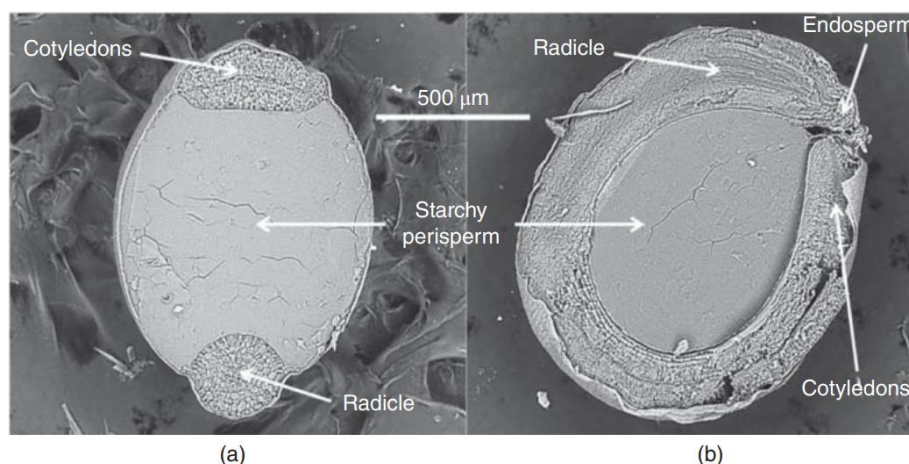
1.1.1.4 Carbohidratos

Entre los carbohidratos del amaranto encontramos gránulos de almidón compuestos principalmente por amilopectina (93.6-95.2%); que favorece a sus propiedades de gelatinización, congelación y descongelación. Además, es más resistente a la acción de las amilasas. Por otro lado, la solubilidad y digestibilidad del almidón del amaranto son altas debido a su pequeño tamaño, (diez veces más pequeño que el almidón de maíz) (Martinez-Lopez et al., 2020). Además de alimentación, tiene usos en cosmética y farmacología.

1.1.2 Composición del grano de amaranto

La semilla de amaranto posee colores blancos, amarillentos, dorados, rosados, rojos, negros y púrpuras, mide entre 1 a 1.5 mm de diámetro con forma levemente aplanada (lenticular) (Jiménez-Sánchez, 2017). La semilla consta de diferentes capas (Figura 1), la más grande es el perispermo, donde se concentra el almidón (60% del peso de la semilla); además está el endospermo; el embrión, compuesto por dos cotiledones ricos en proteínas, el procámbium, la radícula, y finalmente la raíz (Martinez-Lopez et al., 2020; Velarde-Salcedo et al., 2019).

Figura 1. Imágenes de microscopía electrónica de barrido de semillas de *A. hypocondriacus*



Fuente: (Velarde-Salcedo et al., 2019). (a) corte axial y (b) corte longitudinal.

El amaranto crece dentro de un amplio rango de temperaturas (7 - 47 °C); pero su rendimiento óptimo parece darse entre los 13.7 y 28.9 °C, aunque algunos autores reportan 25°C como temperatura óptima (Jiménez-Sánchez, 2017). De todas formas; debido a las condiciones ambientales de la sierra andina, suele ser cultivado a temperatura promedio anual alrededor de los 15 °C y pH entre 6 a 7 (Basantes Morales, 2015).

1.2. Quinua

La quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) es una de las plantas alimenticias más antiguas del área andina y su consumo fue muy difundido en la civilización incaica; es una dicotiledónea anual perteneciente a la familia de las *Chenopodiaceae* (Varga-Zambrano et al., 2019).

El cultivo de quinua es versátil, pudiendo crecer bajo diferentes condiciones ambientales. Se adapta bien a temperaturas de 9-16 °C, es resistente a heladas de hasta -5 °C y pH de 6.3-7.3 (Basantes Morales, 2015). La quinua se distingue por su capacidad para resistir sequías, plagas, enfermedades, salinidad y heladas (Bender & Schönlechner, 2021; Guerrero-Salazar, 2020).

Antiguamente, en la región andina de Bolivia y Perú las semillas de quinua eran cocinadas y asadas, usadas como cereal, añadidas en sopas y empleadas para la elaboración de bebidas fermentadas, tipo chicha; sin embargo, a partir de la colonización fue considerada por los

conquistadores como un alimento de bajo prestigio social al ser consumida por campesinos o indios, razón por la cual fue siendo reemplazada por otros tipos de granos (Bastidas et al., 2016).

1.2.1 Características nutricionales de la quinua

La quinua se ha convertido en un cultivo en expansión gracias a su alto valor nutritivo, que incluye su contenido y calidad proteica (posee todos los aminoácidos esenciales); además, contiene oligoelementos y cantidades significativas de vitaminas B, C y E; así como minerales Ca, K, Fe, Mg, Mn, P e isoflavonas que ayudan a la contribución de propiedades antioxidantes (Harvey-Infante et al., 2018).

Hoy en día es empleada como una de las mejores opciones para luchar contra la malnutrición y el hambre por sus elevados perfiles nutricionales en comparación con los cereales (Tabla 3) y por su sostenibilidad (Suárez-Estrella et al., 2021).

Tabla 3. Composición química promedio de la quinua con algunos cereales (g 100 g⁻¹ peso seco)

| Porcentaje | Proteína | Carbohidratos | Fibra | Grasa | Cenizas |
|---------------------|----------|---------------|-------|-------|---------|
| Pseudocereal | | | | | |
| Quinoa | 14.1 | 64.2 | 7.0 | 6.1 | 2.4 |
| Cereales | | | | | |
| Cebada | 13.8 | 72.3 | 15.1 | 2.4 | 1.9 |
| Trigo | 10.7 | 75.4 | 12.7 | 2.0 | 1.5 |

Fuente: (Schmidt et al., 2021).

1.2.1.1 Proteína

Las semillas de quinua tienen entre 13.1 % y 16.7% de proteína, lo cual es mayor al contenido del arroz, maíz, centeno y cebada. La quinua cuenta con proteínas de almacenamiento, siendo las principales las albúminas (35%) y las globulinas (37%); las prolaminas también están presentes, pero en concentraciones bajas. La quinoa es un pseudocereal con proteínas de alta calidad debido a su equilibrado patrón de aminoácidos esenciales (Vilcacundo & Hernández-Ledesma, 2017).

Es más, la composición de la quinua en relación al almacenamiento de proteínas se concentra principalmente en el tejido embrionario. Sin embargo, también se pueden encontrar otros elementos como lípidos, fibra, saponina y cenizas; pero cabe destacar que el perispermo de la semilla es rico en almidón. Además, es importante señalar que las proteínas desempeñan un papel fundamental en las propiedades funcionales y estructurales de la quinua, tales como la formación de una red de gel, la solubilidad, así como las propiedades espumantes y emulsionantes (Dakhili et al., 2019).

1.2.1.2 Carbohidratos

La quinua tiene entre 58.1% - 64.2% de almidones en base seca (bs). Estructuralmente, el almidón se compone de amilosa y amilopectina, siendo la amilosa aproximadamente el 10%, aunque puede variar en un rango del 3% - 20%. En cuanto a la amilopectina, constituye alrededor del 90%, con un bajo grado de polimerización entre 8 y 12, lo cual favorece su digestibilidad y solubilidad ya que se produce una mayor área superficial para la ligazón de agua y la digestión enzimática (Ng & Wang, 2021).

En la quinua, los gránulos de almidón son de forma poligonal con diámetro de 0.6-2.2 μm , siendo más pequeños en comparación con la mayoría de los cereales. Estos gránulos pueden hallarse de manera individual o construyendo agregados de estructuras compuestas elípticas o esféricas (Blasco-Rubio, 2022). Gracias a su pequeño tamaño son aprovechados y empleados en las mezclas con polímeros sintéticos para la elaboración de envases biodegradables (Maradini et al., 2015).

La quinua es un alimento con bajo índice glucémico ya que la liberación de glucosa en el torrente sanguíneo es lenta. El índice glucémico los alimentos depende de las propiedades estructurales y químicas de sus gránulos, y este puede verse afectado por procesos como la germinación, el horneado, la molienda y la fermentación (Lopes et al., 2018).

1.2.1.3 Grasa

Entre las fracciones lipídicas de la quinua encontramos di y triglicéridos en concentraciones superiores al 20% y 50%, respectivamente. Los ácidos grasos monoinsaturados (Tabla 4) constituyen el 27%, en cambio los poliinsaturados un 55%, con un total de ácidos grasos

saturados del 12%. La semilla está compuesta por ácidos grasos insaturados en un total del 82%, con una distribución de ácido linoleico (50%), ácido oleico (23%) y, ácido alfa-linolénico (5%) (Hernández-Ledesma, 2019).

Tabla 4. Contenido proximal de ácidos grasos en la quinua y en cereales (g/100 g de porción comestible)

| | Quinoa | Trigo duro | Arroz blanco | Grano de maíz amarillo |
|---------------------------|---------------|-------------------|---------------------|-------------------------------|
| Ácidos grasos, SFA | 0.71 | 0.45 | 0.16 | 0.67 |
| Ácidos grasos, MFA | 1.61 | 0.34 | 0.18 | 1.25 |
| Ácidos grasos, PFA | 3.29 | 0.98 | 0.16 | 2.16 |

SFA: Ácidos grasos saturados **MFA:** Ácidos grasos monoinsaturados **PFA:** Ácidos grasos poliinsaturados

Fuente: (Hernández-Ledesma, 2019).

1.2.1.4 Fibra

La planta de quinua posee diferentes contenidos de fibra en sus brotes, granos y hojas, (entre 4.6 – 23.5%, 7 – 14.1% y 6.9 – 7.8 %, respectivamente) (Pathan & Siddiqui, 2022). La composición de la fibra de quinua es afectada por la genética, los lugares en donde es cultivada y, el procesamiento. Los rangos de contenido de fibra total, soluble e insoluble son 14-20%, 3.7-5.9% y 10-14% (Zhu, 2020).

1.2.1.5 Saponinas

Las saponinas, presentes en toda la planta de quinua actúan como un mecanismo de defensa frente al ataque de plagas. Se caracterizan por su sabor amargo y toxicidad en elevadas concentraciones. Se consideran factores anti nutricionales, por lo tanto, es aconsejable eliminar las saponinas de las semillas antes de consumirlas (El Hazzam et al., 2020), a través del lavado previo a la cocción o el descascarillado mecánico por abrasión (Melini & Melini, 2021).

1.3 Desinfectantes

Un desinfectante se define como una sustancia o mezcla de sustancias que tienen como objetivo la destrucción o inactivación irreversible de las bacterias, virus y hongos. Sin

embargo, en un entorno inanimado, no necesariamente destruyen esporas bacterianas (Fraser et al., 2021). Dentro de la industria alimentaria, se emplean diferentes desinfectantes químicos, clasificados de acuerdo a su mecanismo de acción: agentes oxidantes, compuestos tensioactivos y yodóforos. Los agentes oxidantes actúan como inhibidores de la síntesis de proteínas y enzimas del metabolismo de hidratos de carbono. En cambio, los compuestos tensioactivos desestabilizan los enlaces de la membrana celular, resultando en la ruptura, mientras que los yodóforos sustituyen los componentes celulares por yodo, llevando a la muerte celular (Cacciatore et al., 2020).

1.3.1 Alternativas de desinfección para semillas germinadas

Se han desarrollado alternativas de desinfección que cumplen con las normas de procesamiento de brotes orgánicos frescos (Chen et al., 2019). Los productores de brotes reciben lotes de semillas bajo la legislación alimentaria general de la Unión Europea (UE) de comercialización, de acuerdo al reglamento (CE) N° 178/2002, con el fin de garantizar su seguridad. Incluso, si la recepción de semillas para producción es ajena a la UE, deberán ser recibidas únicamente con un certificado donde se detallen todas las etapas de vida comercial conforme al reglamento de la UE N° 704/2014 de la Comisión Europea (modificación del Reglamento (UE) N° 211/2013 de la Comisión). En cuanto al empleo de tratamientos de descontaminación microbiológica al que son sometidos las semillas, según (European Sprouted Seeds Association, 2022), cada país de la Unión Europea tendrá la potestad de permitir únicamente los tratamientos aceptados por sus autoridades nacionales competentes.

Por esta razón, el tratamiento a aplicar a semillas crudas con el fin de producir semillas germinadas con la menor carga microbiana, permitirá disminuir los riesgos de enfermedades transmitidas por los alimentos (Saunders & Everis, 2014); pero será importante evitar que repercuta en la capacidad germinativa de las semillas.

1.3.1.1 Ácido láctico

Es un ácido orgánico natural, producido por la síntesis química o fermentación. Encontrado en diversos alimentos, como el suero de leche, yogurt, chucrut, panes de masa fermentada y otros alimentos fermentados. Utilizado en la industria alimentaria, inodoro, no volátil y reconocido generalmente como seguro (GRAS, por sus siglas en inglés) para aditivos

alimentarios por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) (Datta & Henry, 2006).

Un estudio realizado por Maktabi et al. (2022) reveló que el efecto bactericida del ácido láctico es superior al ácido cítrico. Empleando una concentración del 0.5% de ácido láctico, se observó que después de 10 minutos, reduce la viabilidad de la bacteria alrededor de 10^6 cfu (Colony Forming Units) /ml.

1.3.1.2 Ácido acético

Se encuentra de manera natural en diferentes alimentos fermentados y frutas. Este ácido orgánico es reconocido por su actividad bactericida confirmándose su efectividad contra *E. coli*, *L. monocytogenes*, *Y. enterocolítica* y *Salmonella Typhimurium*. Por ello, se recomienda el lavado de alimentos con este ácido orgánico debido a su mayor eficacia en comparación con el peróxido de hidrógeno y el hipoclorito de sodio (Rosli & Tang, 2018).

1.3.1.3 Etanol

Se caracteriza por sus propiedades desinfectantes y antimicrobianas; sin embargo, su uso es limitado debido a su toxicidad, por lo que su tiempo de exposición debe ser relativamente corto (Đerić et al., 2020). El etanol al 70 % con grado de laboratorio es un desinfectante incapaz de producir efectos secundarios en la germinación de semillas (Gilbert et al., 2023).

1.3.1.4 Sorbato de potasio

Es usado como preservante en alimentos ácidos (jugos o bebidas), su efectividad depende del sistema alimentario o del tipo de alimento. Inhibe catalasas (positivas-negativas), bacterias grampositivas, gramnegativas, aerobias, anaerobias, mesófilos, psicrófilos y termófilos. Destruye la estructura celular de la bacteria gracias a sus características lipofílicas (Amilia et al., 2023).

Al igual que el ácido láctico, el sorbato de potasio es reconocido como GRAS en determinadas concentraciones por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y la FDA. La FDA estima segura una concentración de 1 mg/L de sorbato de potasio

de acuerdo al peso de los alimentos y bebidas. El exceso en los niveles de ingesta diaria admisible (IDA, por sus siglas en inglés) es un riesgo para la salud de los consumidores, para ácido sórbico y sales de sorbato: 25 mg/kg de peso corporal/día, mientras que para ácido benzoico y sales de benzoato, el valor es 0-5 mg/kg de peso corporal/día (Amilia et al., 2023).

1.3.1.5 Benzoato de sodio

Es ampliamente usado como conservante en alimentos ácidos, actúa como antiséptico, lubricante, bacteriostático y fungicida en condiciones ácidas. Se ha reportado que posee la capacidad de producir un cambio en el pH, ya que en concentraciones más elevadas de 2-10 mM, se encuentra en forma no disociada en la célula, produciendo una neutralización dentro de la misma, repercutiendo en más de una unidad de pH del agua intracelular (Bhatia et al., 2015).

1.4 Germinación de las semillas

Desde la antigüedad, la germinación es un método físico que se emplea con el objetivo de modificar aspectos sensoriales de las semillas, gracias a la activación de diversos fenómenos enzimáticos. Inicialmente, se empleaban semillas de cereales germinadas como forraje para los animales (Aloo et al., 2021). Se ha observado que el enriquecimiento del forraje con grano germinado ayuda a incrementar el peso de los animales de granja, además de mejorar su resistencia y productividad, debido a que el grano germinado posee mayor cantidad de micronutrientes más biodisponibles (Matyushev et al. 2021). Pero hoy en día, hay una gran cantidad de alimentos germinados derivados de semillas como alfalfa, repollo rojo, trigo sarraceno, brotes de brócoli, entre otros (Aloo et al., 2021).

La germinación es un conjunto de procesos metabólicos que resultan de la transformación de un embrión en una plántula capaz de valerse por sí misma y convertirse en una planta fotosintéticamente competente (Torres & Chávez, 2016). Sin embargo, existen ciertos factores que afectan la germinación y son descritos por Suquillo (2018) y Torres & Chávez (2016).

La germinación de las semillas se realiza en las siguientes etapas:

- 1) Imbibición: La semilla absorbe el agua y, consta de tres fases: a) Rápido incremento en la absorción de agua; b) Estabilización y movilización de nutrientes y; c) Alargamiento del embrión, ruptura de la testa y germinación (Suárez & Melgarejo, 2014).
- 2) Activación enzimática: Disminuye significativamente la absorción de agua, inician diversas transformaciones metabólicas indispensables para el progreso de la plántula (Arenas & Heredia, 2017).
- 3) Crecimiento: Etapa donde se produce un nuevo evento de absorción de agua relacionado con el crecimiento de la radícula y el incremento en la actividad metabólica. Sin embargo, dicho acontecimiento se lleva a cabo únicamente con fines de cultivo y no es aplicable para uso industrial en relación con la semilla germinada (Arenas & Heredia, 2017).

1.4.1 Factores externos:

- 1.4.1.1 Agua: Una baja cantidad de agua en la semilla no permite su germinación, puesto que la hidratación de los tejidos de la semilla es necesario para activar el metabolismo y, por ende, iniciar el proceso germinativo (Obroucheva et al., 2017).

El aumento en la cantidad de agua (18-20%) provoca un incremento inicial en la respiración debido a la activación del ciclo de Krebs y de la glucólisis. Cuando la hidratación es alrededor de 45%, se produce la activación de la respiración hasta un nivel máximo por la inserción de las subunidades succinato deshidrogenasa y citocromo oxidasa. En un intervalo de humedad de 45-55%, empieza la transcripción y el funcionamiento de los ribosomas. Además, en los amiloplastos y las vacuolas de almacenamiento de proteína, se observa un aumento en la hidrólisis de las sustancias de reserva. Por consiguiente, a un 60% de nivel de hidratación, en las semillas se activan los procesos metabólicos basales (Obroucheva et al., 2017). Cuando se excede la humedad en la germinación de semillas, se genera daños a las membranas celulares de las semillas (Pereira et al., 2013).

- 1.4.1.2 Temperatura: Repercute directamente en la actividad enzimática, regulando la velocidad de reacción. Ciertas semillas de hábitats tropicales germinan a temperaturas superiores a 25°C, mientras que las semillas de zonas frías germinan entre 5-15 °C.

1.4.2 Factores internos:

1.4.2.1 Madurez de la semilla: Se refiere al completo desarrollo morfológico y fisiológico de la semilla.

1.4.2.2 Viabilidad de la semilla: Indica las condiciones y período durante el cual las semillas mantienen su capacidad germinativa.

1.5 Mejora en las propiedades nutricionales y medicinales en las semillas germinadas

Se han reportado mejorías en términos de valores nutricionales y medicinales de las semillas luego de haber sido sometidas a procesos de germinación. Dichos estudios demuestran que la germinación conduce, por un lado, al catabolismo y degradación de los principales macronutrientes, como carbohidratos, proteínas y ácidos grasos, acompañados por el aumento de azúcares simples, ácidos orgánicos y aminoácidos libres (Gan et al., 2016). Por el otro lado, conlleva a la disminución de factores antinutricionales e indigeribles, como saponinas e inhibidores de lectina y proteasa (Suárez-Estrella et al., 2021).

1.5.1 Enfermedades ligadas a la contaminación de semillas germinadas

Aunque la germinación mejore las propiedades nutricionales y aumente el contenido de antioxidantes en semillas germinadas, existe el riesgo de contaminación por microorganismos patógenos si las condiciones ambientales son propicias al desarrollo microbiológico, como condiciones de calor y humedad elevados (Mir et al., 2021). Shomodder et al. (2022) señalan que el aumento de patógenos como *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* O157:H7 y *Listeria monocytogenes* son la causa principal de las ETAs asociadas al consumo de germinados. Asimismo, Cava et al. (2009) han reportado que ciertos microorganismos patógenos son capaces de sobrevivir dentro de las semillas por un largo periodo de tiempo, y vinculan dichos problemas con factores del proceso de germinación, como la temperatura, la disponibilidad de nutrientes y carbohidratos, así como un pH cercano al neutro que favorece la proliferación bacteriana. La contaminación cruzada y el uso de agua empleada para el mantenimiento de la humedad durante la germinación son factores causantes de la contaminación en las semillas de un mismo lote.

La presencia de cualquier tipo de microorganismo patógeno es alarmante, debido a que puede resultar en enfermedades para los consumidores. Es importante tomar medidas de prevención para evitar la presencia patógenos y/o su proliferación hasta niveles peligrosos (Ramírez, 2006). La dosis mínima infectante varía según cada microorganismo presente en el alimento. Cada persona aloja una comunidad microbiana y, cada uno de estas posee una función y composición distinta, de acuerdo a su naturaleza y a su ubicación en el cuerpo. Los efectos patógenos de los microorganismos dependen de factores ambientales, la interacción huésped-patógeno, la localización anatómica, la complejidad, el sistema inmunitario del huésped (estado de salud), el genotipo, la higiene personal y la dieta (Sarmah et al., 2018; Dekaboruah et al., 2020).

Se han identificado tres categorías principales de patógenos transmitidos por los alimentos (Buchanan et al., 2009):

- 1) Toxigénicos: Liberan una toxina dentro del alimento antes de la ingesta.
- 2) Toxicoinfecciosos: Capaces de colonizar la superficie del sistema gastrointestinal.
- 3) Invasores: Tienen la capacidad de atravesar el epitelio intestinal y se dispersan en el huésped.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

La quinua (var. INIAP Excelencia) y el amaranto (var. Alegría) empleadas en este trabajo de titulación fueron adquiridas a la Asociación Mushuk Yuyay (Cañar, Ecuador). Las semillas fueron limpiadas y se determinó su granulometría, por medio de un tamizado manual, con el objetivo de eliminar cualquier tipo de material extraño que contuvieran las mismas.

Para la desinfección de semillas se utilizó: sorbato de potasio, benzoato de sodio, etanol, ácido láctico y ácido acético. Para el recuento de microorganismos se emplearon placas Compact Dry TC (recuento de mesófilos totales) y Compact Dry YM (Mohos y Levaduras). En el caso de análisis de microorganismos patógenos se utilizaron placas VRB y SS (Coliformes y Enterobacterias).

2.2 Métodos

2.2.1 Limpieza y caracterización granulométrica

2.2.1.1 Semillas de quinua

La limpieza y granulometría de las muestras se ejecutó por medio de un tamizado manual con mallas de 2 mm, 1 mm y 600 μm , a velocidad constante y con movimientos homogéneos por 2 minutos con 15 segundos, para eliminar materiales extraños a las semillas y clasificar el material presente.

2.2.1.2 Semillas de amaranto

Las muestras pasaron por un tamizado manual para la limpieza y granulometría, a velocidad constante y con movimientos homogéneos por 3 minutos que permitían la eliminación de restos extraños de materia orgánica e inorgánica. Las mallas usadas para la caracterización granulométrica fueron 2 mm, 1mm, 710 μm y 500 μm .

Con el fin de determinar cuál es el grado de calidad del grano de amaranto establecido por la norma INEN, se llevó a cabo un análisis de la masa hectolítrica (Imagen 1). Se colocaron 100

mL de semillas en una probeta y se determinó su peso por diferencia respecto a la probeta vacía.

Imagen 1. Determinación de masa hectolítrica de semillas de amaranto



Fuente: Elaboración propia.

2.2.2 Aplicación de modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización de las condiciones de desinfección para la germinación de las semillas de quinua y amaranto

La evaluación de los desinfectantes y sus concentraciones para este trabajo experimental, se basó en una revisión bibliográfica exhaustiva sobre aquellos desinfectantes que favorezcan la reducción de microorganismo patógenos, que pueden ser usados en la industria de alimentos, en la que fueron identificados: ácido láctico, ácido acético, etanol, sorbato de potasio, benzoato de sodio entre otros.

Los desinfectantes fueron aplicados en mezclas para determinar las condiciones óptimas de su aplicación, en función de la disminución de la carga microbiana y la no afectación a la capacidad germinativa de las semillas, ni a la aceptabilidad por parte de los consumidores, para lo cual se empleó un diseño de Plackett-Burman con 16 experimentos para cada semilla (Tabla 5). El diseño implicó el análisis de 12 experimentos y un punto central, replicado cuatro veces. Los experimentos se realizaron en orden aleatorio.

Tabla 5. Diseño experimental de Plackett-Burman con 5 variables

| Experimento | Ácido láctico | Ácido acético | Etanol | Sorbato de potasio | Benzoato de sodio |
|--------------------|----------------------|----------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|
| 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 |

| | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|
| 2 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| 3 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 |
| 4 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 |
| 5 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 |
| 7 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 |
| 8 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 |
| 10 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 |
| 11 | -1 | 1 | -1 | -1 | -1 |
| 12 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Se prepararon 75 mL de las soluciones con las concentraciones correspondientes, de acuerdo al diseño experimental y los parámetros establecidos, tanto para la quinua como para el amaranto (Tablas 5, 6 y 7).

Tabla 6. Condiciones de aplicación de los desinfectantes a las semillas de quinua

| Sustancia | Concentración (%) | | |
|--------------------|--------------------------|----------|----------|
| | -1 | 0 | 1 |
| Ácido láctico | 0.26 | 1.88 | 3.5 |
| Ácido acético | 0.26 | 1.88 | 3.5 |
| Etanol | 22.25 | 27 | 31.75 |
| Sorbato de potasio | 1.3 | 3.15 | 5 |
| Benzoato de sodio | 1.3 | 3.15 | 5 |

Tabla 7. Condiciones de aplicación de los desinfectantes a las semillas de amaranto

| Sustancia | Concentración (%) | | |
|------------------|--------------------------|----------|----------|
| | -1 | 0 | 1 |

| | | | |
|--------------------|-------|------|-------|
| Ácido láctico | 0.13 | 0.94 | 1.75 |
| Ácido acético | 0.13 | 0.94 | 1.75 |
| Etanol | 11.12 | 13.5 | 15.88 |
| Sorbato de potasio | 0.66 | 1.58 | 2.5 |
| Benzoato de sodio | 0.66 | 1.58 | 2.5 |

2.2.3 Desinfección para la germinación de semillas

2.2.3.1 Evaluación de desinfectantes

Se tomaron 50 g de cada muestra, que fueron lavadas con agua destilada. Posteriormente, se sumergieron en la mezcla de soluciones de desinfectantes de acuerdo al diseño (Tabla 5) por 5 minutos. Las muestras fueron enjuagadas con agua destilada y se las colocó en remojo por 13 h en una proporción de agua: semillas de 1:1.5 (quinua y amaranto), con lo cual quedaron las semillas completamente cubiertas por el agua y se mantuvieron en condiciones de oscuridad para evitar el proceso de la fotosíntesis.

2.2.4 Proceso de germinación

2.2.4.1 Semillas de quinua

Las semillas remojadas de quinua (sección 2.2.3.1) fueron escurridas e introducidas en el germinador (Memmert HPP260, Schwabach, Alemania) (Imagen 2) a 25°C por 32 horas, con una humedad relativa del 90±0.5% en base a investigaciones previas (Vásquez-Remache, 2022) y análisis preliminares.

Imagen 2. Semillas en fase de germinación



Fuente: Elaboración propia.

Finalizada la germinación, las semillas fueron colocadas en lienzos e introducidas en el deshidratador Excalibur modelo (3900B Deluxe, Brooklyn, New York, Usa) (Imagen 3), por 13 horas a 45 °C.

Imagen 3. Deshidratado de las semillas



Fuente: Elaboración propia.

Las semillas secas se colocaron en fundas herméticas rotuladas (Imagen 4) y se almacenaron a 4°C hasta el análisis respectivo.

Imagen 4. Almacenamiento de las semillas de quinua



Fuente: Elaboración propia.

2.2.4.2 Semillas de amaranto

Inicialmente las semillas remojadas de amaranto (sección 2.2.3.1) siguieron el mismo método para el proceso de germinación que las semillas de quinua (sección 2.2.4.1). Sin embargo, se observaron efectos desfavorables para las semillas de amaranto, por lo que se empleó otro método, en el cual, las semillas remojadas, fueron colocadas en un colador y cubiertas con papel filtro para minimizar la contaminación ambiental y permitir que el oxígeno entre en contacto con las semillas durante el proceso de germinación. Estos coladores fueron colocados sobre pozuelos de plástico para eliminar el exceso de agua (Imagen 5) en el germinador adaptado a partir de una estufa, (adaptación descrita en Vásquez-Remache, 2022) (WTB binder B 115, Tuttligen, Alemania) a 25°C por 32 horas, con una humedad relativa del $93\pm 0.5\%$ en base a investigaciones previas (Castro, 2024).

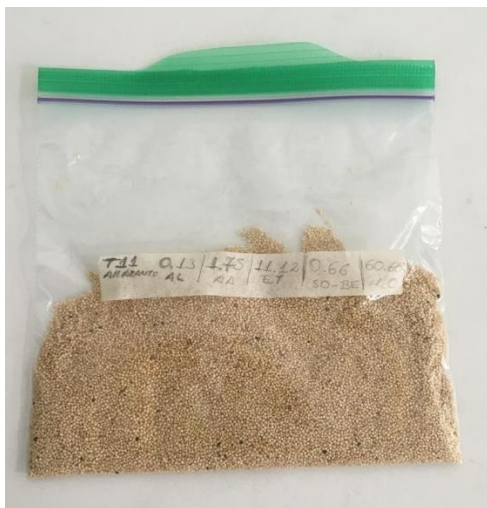
Imagen 5. Semillas de amaranto en fase de germinación



Fuente: Elaboración propia.

Concluido el período de germinación, las semillas fueron secadas, rotuladas y almacenadas (Imagen 6) bajo las mismas condiciones de tiempo y temperatura que la sección 2.2.4.1.

Imagen 6. Almacenamiento de las semillas de amaranto

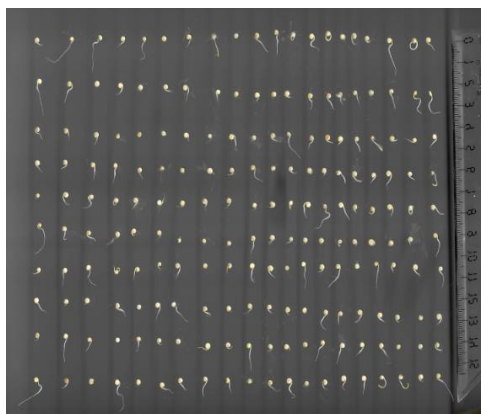


Fuente: Elaboración propia.

2.2.5 Determinación del porcentaje de germinación de quinua

Se colocaron 100 semillas germinadas, sin secar, de cada muestra, en el escáner (Xerox WorkCenter 4260/S, Norwalk, USA) (Imagen 7) para determinar el porcentaje de germinación (n=3, resolución: 300 dpi). Las muestras fueron cubiertas con una tapa de cartón y se colocó una regla para dimensionar el tamaño de las raicillas.

Imagen 7. Escaneo de semillas germinadas de quinua



Fuente: Elaboración propia.

Mediante la *Ecuación 1* se determinó el porcentaje de semillas germinadas de los diferentes tratamientos utilizados en este trabajo de titulación.

Ecuación 1. Porcentaje de germinación (PG %):

$$PG\% = \frac{\text{Número de semillas germinadas}}{\text{Número total de semillas escaneadas}} * 100$$

Fuente: (Wajid, y otros, 2018).

2.2.6 Molienda de las semillas para análisis microbiológico

Se molieron alrededor de 12 g de cada muestra de semillas germinadas secas (Imagen 8a) (Hamilton Beach, 80350R, Waterfront, Virginia, Estados Unidos) por 50 segundos para la quinua y para el amaranto por 26 segundos, evitando el recalentamiento del molino y asegurando la homogeneidad de la molienda. Después, se conservó la harina obtenida en fundas ziploc (Imagen 8b) a 4 °C para su posterior análisis microbiológico.

Imagen 8. Molienda de semillas germinadas y empaquetado



(a)

(b)

Fuente: Elaboración propia.

(a) Harina de semillas germinadas y (b) Muestras empaquetadas

2.2.7 Análisis microbiológico de las semillas de quinua y amaranto

Se analizó la carga microbiológica de las muestras de quinua y amaranto originales, solamente sometidas a un proceso de limpieza, para comparar el efecto de los procesos de desinfección y germinación respecto a la carga inicial. Los microorganismos analizados fueron mesófilos totales y mohos y levaduras.

Se colocaron 10 g de semillas molidas en 90 ml de agua de peptona, y se homogeneizó por 1 minuto.

Se realizaron diluciones de 10^1 , 10^2 , 10^4 y 10^6 inoculando 1 ml de cada dilución en placas compact DRY TC (mesófilos totales) y compact Dry YM (mohos y levaduras).

Finalizada la siembra, las muestras se colocaron en una incubadora (MEMMERT INB-400, Schwabach, Alemania), bajo las condiciones descritas en la tabla 8.

Tabla 8. Condiciones de incubación

| Microorganismo | Tiempo (horas) | Temperatura (°C) |
|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Mesófilos totales | 48 | 36 ± 1 |
| Mohos y levaduras | 72 | 28 ± 1 |

Al completarse el tiempo debido, se realizó el recuento de microorganismos en base al número de colonias formadas y se multiplico por el factor de dilución.

Los resultados obtenidos, en base al número de colonias y el factor de dilución, fueron comparados con los valores recomendado por las normas: INEN 1673:2013: Quinua Requisitos (Mohos) y la Norma Técnica Peruana NTP 205.062:2014 Granos Andinos. Quinua. Requisitos (Mesófilos). Para el análisis del amaranto, se usó la Norma INEN 2646:2012 Granos y cereales. Grano de amaranto (Mesófilos, Mohos y levaduras).

2.2.8 Análisis sensorial y fichas de cata

El proceso de cocción de las semillas (Imagen 9) fue de 17 minutos a 92 °C, de acuerdo a lo recomendado por (Castro, 2024). Se evaluaron los siguientes parámetros sensoriales de las semillas germinadas y cocidas:

- Olfativo: Aroma e Intensidad.
- Gustativo: Amargor, Astringencia, Gusto y Regusto.
- Visual: Aspecto.
- Impresión global: Aceptabilidad general.

Imagen 9. Semillas cocidas de quinua germinada



El panel sensorial fue formado por 15 catadores semientrenados. La evaluación sensorial fue ejecutada en el laboratorio correspondiente de la Universidad del Azuay. Se llenó una ficha de cata con escala hedónica (Anexo 4) de 7 puntos, donde los panelistas registraron su percepción frente a las diferentes muestras de semillas. La valoración más baja es el número “1”, la cual indicaba “Me disgusta mucho”, mientras que “7” fue la más alta: “Me gusta mucho”.

2.2.9 Análisis estadístico

Finalizada la cata, los resultados obtenidos fueron tabulados en Microsoft Excel, para determinar las medianas de los parámetros sensoriales (sección 2.2.8) y elaborar la matriz de las medianas. La matriz realizada fue cargada a DART 2.0 donde, para cada dato importado, se ponderó un valor (Tabla 9) para obtener la función de deseabilidad.

Tabla 9. Ponderación de cada atributo sensorial de las semillas de quinua germinada

| Semillas germinadas de quinua | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Respuesta | Atributos | Ponderación |
| Q1 | Aspecto | 3 |
| Q2 | Intensidad | 2 |
| Q3 | Aroma | 5 |
| Q4 | Amargor | 3 |
| Q5 | Astringencia | 2 |
| Q6 | Gusto | 6 |
| Q7 | Regusto | 3 |
| Q8 | Aceptabilidad general | 12 |
| Q9 | Porcentaje de semillas germinadas | 36 |
| Q10 | Mesófilos totales | 18 |
| Q11 | Mohos y levaduras | 18 |

La función deseabilidad fue colocada en Minitab 20 junto al diseño de Plackett-Burman programado, para evaluar la significancia de las diferentes variables.

2.2.10 Análisis de microorganismos patógenos en la muestra optimizada de quinua germinada

Se molió la muestra con la mayor función de deseabilidad siguiendo el proceso descrito en la sección 2.2.6. Se mezclaron 5 g de muestra con 18 ml de agua de peptona, y se homogeneizó por 1 minuto. Seguidamente, se efectuaron diluciones de 1:1 y 10^{-1} , aplicando la muestra sobre las placas VRB y SS con un hisopo.

Concluida la siembra, las muestras se colocaron en una incubadora, bajo condiciones de $36^{\circ}\text{C}\pm 1$ por 24h.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Limpieza y caracterización granulométrica

3.1.1 Semillas de quinua

Los materiales retenidos en el tamiz de 2 mm y aquellos que superaron el tamiz de 0.6 mm fueron desechados por considerarse con impurezas (hojas, tallos y polvo). Quedando el material distribuido según se presenta en la tabla 10.

Casi todo el material utilizado tiene diámetros entre 1 y 2 mm (97.22%), aunque también fueron utilizadas semillas de hasta 0.6 mm. No se consideró necesario hacer una distinción entre semillas pequeñas, medianas o grandes, de acuerdo a la norma INEN 1673:2013, puesto que no es un factor que afecte a la capacidad germinativa de las mismas.

Tabla 10. Resultados granulométricos de la var. INIAP Excelencia

| Apertura de la malla (mm) | Masa retenida (g) | Material Retenido en cada malla (%) | Material retenido acumulado (%) |
|--|------------------------------|--|--|
| 2 | 1.07 | 0.54 | 0.54 |
| 1 | 193.65 | 97.22 | 97.76 |
| 0.6 | 3.43 | 1.72 | 99.48 |
| Base | 1.04 | 0.52 | 100 |
| Total | 199.19 | 100 | |

3.1.2 Semillas de amaranto

Las materias extrañas como tallos y hojas fueron retenidas en el tamiz de 2 mm y aquellos que superaron el tamiz de 0.5 mm fueron descartados por estar formados principalmente por polvo. El material quedó distribuido según se reporta en la tabla 11.

Casi todo el material empleado posee diámetros entre 0.71 y 1 mm (98.90%); pero, incluso fueron usadas semillas hasta de 0.5 mm.

Tabla 11. Resultados granulométricos de la var. Alegría

| Malla (mm) | Peso retenido (g) | % Retenido en cada malla | % Retenido acumulado |
|-------------------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| 2 | 0.12 | 0.06 | 0.06 |
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.06 |
| 0.71 | 193.62 | 98.90 | 98.96 |
| 0.5 | 1.33 | 0.68 | 99.64 |
| Base | 0.71 | 0.36 | 100 |
| Total | 195.78 | 100 | |

Las semillas de amaranto se clasifican como granos de grado 3 de calidad conforme a la Norma INEN 2646:2012, (Tabla 12), pues presentan un tamaño menor a 0.87 mm predominando el color blanco y crema. Además, se constató la presencia de una pequeña cantidad de granos rojos, rosados y negros; estos granos son de menor calidad, en comparación con los granos de grado 1 cuyo diámetro es de 1.14 mm como mínimo, y los de grado 2 cuyo diámetro varía entre 0.87 a 1.13 mm; con un color predominante de Blanco/crema para ambos grados de calidad.

La mayor parte de los granos de amaranto son de color blanco y crema; sin embargo, se constató la presencia de granos rojos, rosados y negros. La masa hectolítrica es de 86.73 kg/hl, esto evidencia que en cuanto a masa hectolítrica y color predominante del grano es considerado con un grano de amaranto de grado 1 de calidad.

Tabla 12. Clasificación de los tres grados de calidad del amaranto

| Requisito físico | Unidad | Grado 1 | Grado 2 | Grado 3 |
|---|---------------|----------------|----------------|----------------|
| Masa hectolítrica | kg/hl | ≥ 80 | ≤ 78 | ≤ 72 |
| Tamaño del grano | mm | ≥ 1.14 | 0.87 a 1.13 | < 0.87 |
| Masa de 1000 granos | | ≥ 1.43 | ≥ 0.94 | ≥ 0.55 |
| Granos rojos/rosados | % | 0.5 – 2 | 2.1 – 9 | ≥ 9.1 |
| Granos negros de otras especies de amaranto | % | 0 – 4 | 4.1 – 9 | ≥ 9.1 |

| | | | |
|------------------------------|--------------|--------------|---------|
| Color predominante del grano | Blanco/crema | Blanco/crema | mixtura |
| Forma del grano | ovoidea | Ovoidea | ovoidea |

Fuente: (NTE INEN 2646, 2012).

3.2 Porcentaje de germinación

3.2.1 Semillas de quinua

El porcentaje de germinación de las semillas sometidas a los diferentes tratamientos programados de acuerdo al diseño experimental (Tabla 5) se reportan en la tabla 13 y se muestran en el anexo 1.

Tabla 13. Porcentaje de germinación de las semillas de quinua

| N°. Exp. | Semillas germinadas (%) |
|----------|---------------------------|
| TQ1 | 48.67±2.31 ^{cd} |
| TQ2 | 37.67±3.06 ^{ef} |
| TQ3 | 47.67±3.06 ^{cde} |
| TQ4 | 25.67±3.06 ^g |
| TQ5 | 57.33±3.21 ^{bc} |
| TQ6 | 14.67±2.52 ^h |
| TQ7 | 77.33±3.06 ^a |
| TQ8 | 45.00±2.65 ^{def} |
| TQ9 | 62.00±3.00 ^b |
| TQ10 | 42.00±3.00 ^{def} |
| TQ11 | 36.33±1.53 ^f |
| TQ12 | 67.00±5.57 ^b |
| TQ13 | 50.00±4.58 ^{cd} |
| TQ14 | 45.00±3.61 ^{def} |
| TQ15 | 51.33±4.04 ^{cd} |
| TQ16 | 51.33±4.16 ^{cd} |

Diferentes letras en la misma columna representan diferencias significativas entre las muestras ($p < 0.05$) ($n=3$)

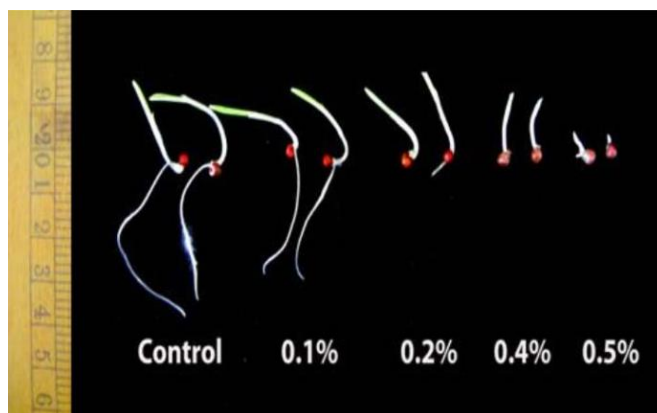
De acuerdo a los resultados obtenidos, el tratamiento con mayor porcentaje de germinación fue TQ7 ($77.33 \pm 3.06\%$), seguido del TQ9 ($62.00 \pm 3.00\%$) y TQ12 ($67.00 \pm 5.57\%$). Por otro lado, los tratamientos con menor porcentaje de germinación fueron el TQ6, con un $14.67 \pm 2.52\%$, y el TQ4, con $25.67 \pm 3.06\%$. Se ha reportado que, si se germina quinua a 25°C por 24 h o 72 h, los porcentajes de germinación de estas semillas alcanzan el 44 y 72.67%, respectivamente (Vásquez-Remache, 2022). Asimismo, si se germina a 22°C por 72 h, la quinua presenta un rendimiento de germinación de aproximadamente del 93% (Suárez-Estrella et al., 2021).

A paridad de tiempo y temperatura de tratamiento, el porcentaje de germinación se ve afectado por el tipo de tratamiento aplicado. Los tratamientos TQ7, TQ9 y TQ12 tienen en común que fueron tratados con la menor cantidad de ácido láctico (0.26%). De todas formas, el tratamiento TQ7 presentó un mayor porcentaje de germinación respecto a TQ9 y TQ12. Este tratamiento se diferencia de ellos en que contó con el mayor porcentaje de ácido acético (3.5%) y etanol (31.75%). Estos resultados podrían sugerir que el ácido láctico interfiere con la capacidad germinativa de las semillas, mientras que el ácido acético y el etanol, no lo hacen.

Al contrario, las muestras con menor porcentaje de germinación (TQ6 y TQ4), fueron tratadas con los mayores porcentajes de ácido láctico (3.5%) y etanol (31.75%). Estos resultados respaldan la observación anterior, es decir que la presencia de ácido láctico podría estar interfiriendo en la capacidad germinativa de las semillas, así como confirmando que el ácido acético y etanol no interferirían, puesto que la muestra 4 fue tratada con la menor concentración de ácido acético, mientras que la TQ6 se trató con la mayor concentración de este ácido. Además, tanto las muestras TQ4, como TQ6, fueron tratadas con las mayores concentraciones de etanol, característica que comparten con TQ7; sin embargo, esta última fue la muestra con el mayor porcentaje de germinación, resultado que respaldaría la observación acerca de que la concentración de etanol no interfiere en la capacidad germinativa de las semillas. Estudios previos realizados por Kulkarni & Chavan (2012) reportan que elevadas concentraciones de ácido láctico causan una disminución del

porcentaje de germinación de las semillas de mijo (Imagen 10) y si la concentración alcanza el 0.5%, la capacidad germinativa de los granos es casi nula, observación que concuerda con los resultados obtenidos en el presente trabajo. Por el contrario, el ácido acético empleado por Szopińska (2013) a concentraciones de 1 % por 30 min para semillas de zinnia presentaban un 84% de germinación y 53% de capacidad germinativa, indicando que a dicha concentración la capacidad germinativa y el porcentaje de germinación no se vieron afectados. No obstante, a concentraciones de 2.5 y 5%, los porcentajes de germinación fueron de 63.7% y 26.3%, respectivamente. Es decir, hubo una notable disminución en el porcentaje de semillas germinadas. En relación a las muestras tratadas con 3.5% de ácido acético en este estudio, el método de desinfección aplicado por Szopińska (2013) alcanzó mayor porcentaje de germinación de semillas de zinnia, probablemente por la diferencia entre los granos; pero también podría ser por algún efecto antagónico entre los desinfectantes aplicados en el presente estudio.

Imagen 10. Resultados del tratamiento con ácido láctico en el crecimiento de plántulas del cultivar de mijo dactilar (GPU-28)



Fuente: (Kulkarni & Chavan, 2012).

El uso de etanol al 75% por 3 minutos en semillas de cañihua, seguido por un proceso de germinación a 22°C por 60 h permite obtener porcentajes de germinación del 43% (Pastor, 2023).

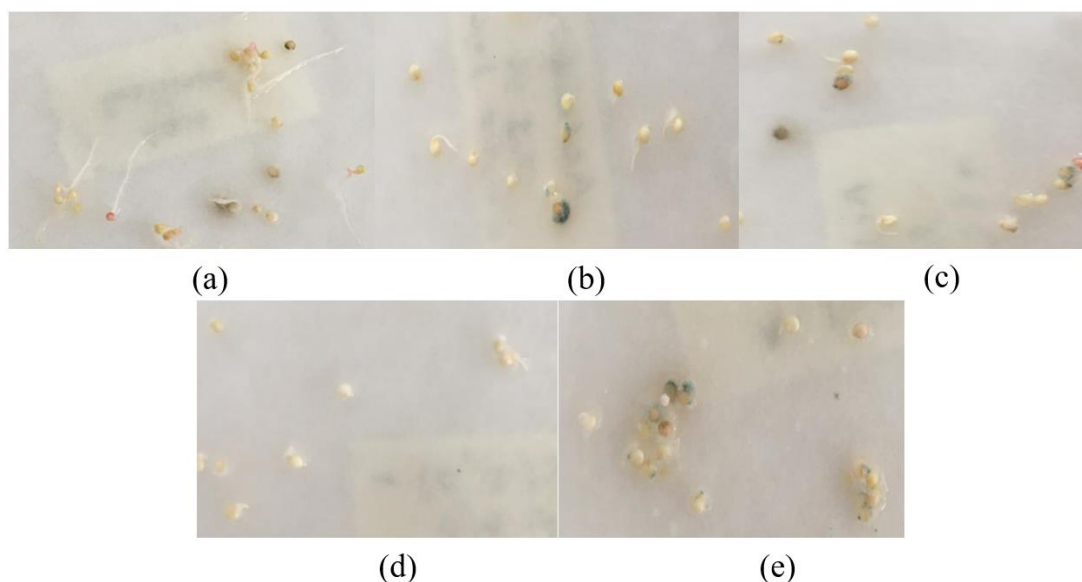
Algunos tratamientos hacen que se observen menores porcentajes de germinación. Se ha reportado que las semillas pueden entrar en un estado de latencia como consecuencia de los tratamientos de desinfección aplicados y dificultarse su capacidad germinativa (Cruz, 2017).

3.2.2 Semillas de amaranto

Al proceder en base al diseño experimental (Tabla 5), las concentraciones iniciales de los desinfectantes fueron mayores, sin embargo, se observó que las semillas sometidas a los diferentes tratamientos programados no germinaban (Anexo 2). Por ello, las concentraciones de los desinfectantes aplicados se fueron disminuyendo progresivamente, hasta los valores presentados en la tabla 7, pero de igual manera, la capacidad germinativa fue nula. Aparentemente, alguna de las sustancias utilizadas o la interacción entre dos o más de ellas, anula la capacidad germinativa del amaranto. Al no cumplirse con la condición principal establecida para este trabajo, que consistía en que los tratamientos aplicados no interfirieran en la capacidad germinativa de las semillas, no se realizó el análisis microbiológico, ni el análisis sensorial previsto.

Para identificar la sustancia que está interfiriendo en el proceso germinativo de las semillas de amaranto, se realizó un estudio sobre 10 semillas remojadas con agua destilada que se colocaron en cajas petri con concentraciones de 0.1%, 0.2%, 0.4% y 0.5% de ácido láctico (Imagen 11), para confirmar si las concentraciones utilizadas de este ácido en este estudio fueron capaces de anular su capacidad germinativa. Kulkarni & Chavan (2012) aplicaron estas condiciones a semillas de mijo y observaron una disminución progresiva de su capacidad germinativa a medida que aumentaba la concentración de ácido láctico, cuando se alcanzó el 0.5% de germinación casi no hubo germinación; de todas formas, durante el presente trabajo, la concentración mínima de ácido láctico utilizada fue de 0.25%, la cual debería permitir aún la germinación de la semilla; pero siendo que la matriz utilizada es amaranto y no mijo, es posible que la respuesta sea diferente, además de la posible acción antagónica de alguna otra sustancia de la mezcla aplicada.

Imagen 11. Resultados del tratamiento con ácido láctico en la germinación de semillas de amaranto



Fuente: Elaboración propia. (a) Agua destilada, (b) 0.1%, (c) 0.2%, (d) 0.4% y (e) 0.5% de ácido láctico.

3.3 Análisis microbiológico

3.3.1 Semillas de quinua

El recuento de mesófilos totales, mohos y levaduras fue realizado en la semilla original sin ningún tratamiento y sin germinar (TQ0), así como en todas las muestras con tratamientos, con el fin de determinar el grado de contaminación original y post tratamiento. Estos resultados se presentan en la tabla (14).

Tabla 14. Recuento de mesófilos totales, mohos y levaduras de las semillas de quinua

| N°. Exp. | Recuento de mesófilos totales (UFC/g) | Recuento de mohos y levaduras (UFC/g) |
|----------|--|--|
| TQ0 | $38 \cdot 10^4$ | $6 \cdot 10^4$ |
| TQ1 | $8 \cdot 10^2$ | $14 \cdot 10^3$ |
| TQ2 | $111 \cdot 10^2$ | $12 \cdot 10^2$ |
| TQ3 | $12 \cdot 10^2$ | $36 \cdot 10^2$ |
| TQ4 | $16 \cdot 10^3$ | $9 \cdot 10^4$ |
| TQ5 | >10 | $38 \cdot 10^3$ |

| | | |
|------|------------------|-----------------|
| TQ6 | $81 \cdot 10^2$ | $11 \cdot 10^3$ |
| TQ7 | $54 \cdot 10^6$ | $75 \cdot 10^3$ |
| TQ8 | $106 \cdot 10^4$ | $7 \cdot 10^4$ |
| TQ9 | $77 \cdot 10^3$ | $33 \cdot 10^3$ |
| TQ10 | $34 \cdot 10^2$ | $31 \cdot 10^3$ |
| TQ11 | $43 \cdot 10^2$ | $8 \cdot 10^3$ |
| TQ12 | $9 \cdot 10^2$ | $28 \cdot 10^3$ |
| TQ13 | $67 \cdot 10^2$ | $38 \cdot 10^3$ |
| TQ14 | $48 \cdot 10^2$ | $18 \cdot 10^3$ |
| TQ15 | $41 \cdot 10^2$ | $5 \cdot 10^2$ |
| TQ16 | $61 \cdot 10^2$ | $31 \cdot 10^2$ |

El recuento de mesófilos totales para TQ0 fue de $38 \cdot 10^4$ UFC/g, estos valores se encuentran dentro de los límites aceptados por la NTP (máximo 10^6 UFC/g). En cuanto a mohos y levaduras, los valores fueron de $6 \cdot 10^4$ UFC/g, que se encuentra dentro de los valores aceptados por la Norma INEN (máximo 10^5 UFC/g), es decir, TQ0 se encuentra dentro de lo establecido por la norma.

Los experimentos sometidos a diferentes tratamientos mostraron niveles de contaminación de mohos y levaduras que oscilan entre $5 \cdot 10^2$ hasta $9 \cdot 10^4$ UFC/g, indicando que todos los tratamientos se mantienen dentro de los límites de la norma (10^5 UFC/g). En cuanto a mesófilos totales, se obtuvieron recuentos >10 hasta $54 \cdot 10^6$ UFC/g, donde algunas muestras superan los límites permitidos por la norma (10^6 UFC/g).

Las muestras TQ7 y TQ8 tuvieron un recuento de mesófilos mayor que el de TQ0 y sobre la norma ($54 \cdot 10^6$ UFC/g y $106 \cdot 10^4$ UFC/g, respectivamente). Los tratamientos TQ7 y TQ8 fueron realizados con la menor concentración de ácido láctico y las mayores de etanol y sorbato de potasio (0.26, 31.75 y 5%, respectivamente), lo que podría sugerir que el etanol y el sorbato serían menos efectivos contra mesófilos que el ácido láctico, dentro de los parámetros experimentales aplicados en este estudio.

Por otro lado, en TQ5 se dio el menor recuento de mesófilos totales, a pesar de haber sido sometido a germinación, su recuento fue muy inferior al de TQ0. No es posible establecer

relaciones entre las concentraciones de los diferentes desinfectantes aplicados y los recuentos de mesófilos totales, puesto que, al comparar los tratamientos con menor recuento de mesófilos (TQ1, TQ3, TQ5 y TQ12) se observa que no comparten concentraciones similares de ninguno de los desinfectantes utilizados, es más, son tratamientos realizado con cantidades opuestas de los diferentes desinfectantes.

En cuanto al recuento de mohos y levaduras, todas las muestras estuvieron dentro de la norma INEN (máximo 10^5 UFC/g), lo que indicaría que todos los tratamientos fueron efectivos para su control; de todas formas, se debe tomar en cuenta que se partió de una muestra inicial con una carga baja ($TQ0 = 6 \cdot 10^4$ UFC/g). Esto significaría que, partiendo de esa carga microbiana se podría utilizar la combinación mínima de desinfectantes propuesta (TQ12) para minimizar costos y riesgos para la salud de los consumidores.

El tratamiento aplicado a TQ12 también resultó efectivo contra mesófilos totales, aunque en ese caso fue más efectivo TQ5, que utilizó las máximas concentraciones de ácido láctico, ácido acético y sorbato de potasio.

Otros estudios han reportado que semillas de quinua variedad INIA 420 Negra Collana sin ningún tratamiento y sin germinar presentaron recuento de aerobios mesófilos de 3.3 log UFC/g y ausencia de hongos. En cuanto, a las muestras germinadas (20°C por 48h) y tratadas con ácido láctico a concentraciones de 0.4% en inmersión a 4°C por 3 min, permitió alcanzar recuentos de mesófilos totales de 1.0 a 3.5 log UFC/g, que al compararlos con la norma microbiológica N° 591.2008 MINSA cumple con el límite establecido, y dichos valores se mantuvieron constantes por los 15 días de almacenamientos realizados (Torres & Chávez, 2016).

Soto-Toro (2011) estudio el efecto de ácido láctico sobre brotes de alfalfa, donde la calidad microbiológica inicial fue de 5.8 log UFC/g (aerobios mesófilos), encontrándose fuera del nivel máximo permitido (5.7 log UFC/g). Pero al emplear concentraciones de 0.00085% y 0.0017% de ácido láctico, se observó que después de 5 días, se había reducido significativamente el recuento de mesófilos totales a valores de 5.5 y 4.6 log UFC/g, respectivamente. Posterior, al quinto día todos los tratamientos incrementaron en el recuento de mesófilos totales. El uso de etanol al 75% por 1 minuto en semillas de cañihua redujo el

recuento de mohos y levaduras a $1 \cdot 10^4$ UP/g (Unidad propagadora por gramo) y a $2 \cdot 10^3$ UFC/g en mesófilos, partiendo de un recuento en semillas germinadas sin ningún tratamiento de $>1 \cdot 10^{10}$ UFC/g (Mesófilos totales) y $>1 \cdot 10^6$ UP/g (Mohos y levaduras) (Pastor, 2023). Asimismo, Pastor (2023) realizó una desinfección de las semillas de cañihua con sorbato de potasio en concentraciones del 0.5%, 2% y 3% por 30 min, lo cual disminuyó el recuento de mesófilos totales y mohos y levaduras en todas las concentraciones, por lo que se esperaría que el benzoato pueda tener un efecto positivo en este estudio.

Por otro lado, tratamientos de 30 minutos aplicando combinaciones de sorbato de potasio y benzoato de sodio en semillas de cañihua en proporción 1:1, con concentraciones de 0.5% y 2% de ambos desinfectantes, permiten alcanzar recuento de los microorganismos dentro de lo permitido por la NTP y son valores que van desde 2000 hasta 7000 UFC/g para mesófilos totales y de 2000 hasta 20000 UP/g para mohos y levaduras, donde los valores iniciales fueron $>1 \cdot 10^{10}$ UFC/g (Mesófilos totales) y $>1 \cdot 10^6$ UP/g (Mohos y levaduras) (Pastor, 2023). Por consiguiente, al combinarse sorbato de potasio y benzoato de sodio a concentraciones de 1.3% en este estudio, se esperaría que cumplan una acción eficaz contra el crecimiento microbiano, a menos que exista alguna interacción no deseada con otros desinfectantes o por alguna particularidad de la semilla.

Los resultados pueden estar relacionados con el tipo de tratamiento de desinfección y, la eficacia del mismo en las semillas, podría verse limitada por el grado de exposición de los patógenos a los agentes químicos, y se plantea la posibilidad de emplear otros métodos para alcanzar una exposición eficaz. Por ello, el encontrar un tratamiento eficaz, rentable, respetuoso con el medio ambiente, seguro y que no genere un impacto negativo en la germinación de semillas, requiere seguir indagando acerca de más tratamientos alternativos para estas semillas (Ding et al., 2013).

3.4 Análisis sensorial

3.4.1 Semillas de quinua germinadas

Se realizó una capacitación al panel sensorial, formado por 15 personas, acerca de cómo realizar la evaluación sensorial y el llenado de la ficha de cata (Anexo 3). Posteriormente, los

resultados de las fichas de catación (Anexo 4) fueron tabulados en Microsoft Excel, para la construcción de la matriz de las medianas de cada factor y cada tratamiento (Tabla 15).

Es importante indicar que aquellas muestras con recuentos de valores superiores a los permitidos por la norma no se realizó el análisis sensorial, como es el caso de TQ7.

Tabla 15. Matriz de las medianas de las respuestas sensoriales de las semillas de quinua germinada

| Exp. | Visual | Olfativo | | Gustativo | | | | Impresión global |
|------|---------|------------|-------|-----------|--------------|-------|---------|------------------------|
| | Aspecto | Intensidad | Aroma | Amargor | Astringencia | Gusto | Regusto | Acceptabilidad general |
| Q1 | 6 | 5 | 5 | 6 | 5 | 6 | 5 | 5 |
| Q2 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Q3 | 5 | 6 | 5 | 5 | 5 | 6 | 5 | 6 |
| Q4 | 6 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Q5 | 6 | 6 | 6 | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 |
| Q6 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Q7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Q8 | 6 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Q9 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Q10 | 6 | 5 | 5 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Q11 | 6 | 6 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Q12 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Q13 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 |
| Q14 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 5 | 5 |
| Q15 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5 | 6 |
| Q16 | 6 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 |

3.5 Aplicación de modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización de las condiciones de desinfección para la germinación de las semillas de quinua

A partir del diseño experimental aplicado (sección 2.2.2) se utilizó el programa DART 2.0 en donde se importaron los datos de las medianas de las respuestas sensoriales, el porcentaje de germinación y el recuento microbiológico (mesófilos totales, mohos y levaduras). En cuanto a las repuestas sensoriales y porcentaje de germinación se aplicó una función lineal ascendente, mientras que, para mesófilo totales, mohos y levaduras, se utilizó una función exponencial inversa.

El programa nos permitió obtener la respuesta multivariada de deseabilidad de las muestras y que son presentados en la tabla 16.

Tabla 16. Matriz de respuestas de deseabilidad para las semillas de quinua

| Nº. Exp | Deseabilidad |
|----------------|---------------------|
| TQ12 | 0.788 |
| TQ15 | 0.744 |
| TQ5 | 0.718 |
| TQ9 | 0.714 |
| TQ3 | 0.710 |
| TQ16 | 0.695 |
| TQ1 | 0.694 |
| TQ13 | 0.692 |
| TQ14 | 0.671 |
| TQ2 | 0.665 |
| TQ10 | 0.637 |
| TQ11 | 0.618 |
| TQ6 | 0.458 |
| TQ4 | 0.403 |
| TQ8 | 0.000 |
| TQ7 | 0.000 |

La aceptabilidad de las muestras está relacionada directamente con la función deseabilidad. Los valores de deseabilidad superiores a 0.6 comúnmente indican respuestas aceptables, en este caso: una buena aceptabilidad entre los catadores, un mayor porcentaje de germinación y una menor carga microbiana. Mientras que, valores inferiores, como los obtenidos en las muestras TQ4, TQ6, TQ7 y TQ8 evidencian una baja aceptabilidad. Es decir, entre las muestras con mayor valor de la deseabilidad (TQ12 y TQ15), la aceptabilidad será mayor y el porcentaje de germinación, pero el recuento de microorganismos será menor, porque en nuestro caso eso es lo deseable.

Es importante destacar que TQ7 y TQ8 poseen deseabilidad 0.000, porque poseen niveles superiores de microorganismos permitidos por la norma.

Al ejecutar el análisis de datos en el programa Minitab 20, y aplicado el análisis estadístico y la evaluación de la significancia de los diferentes factores (Tabla 17), se obtuvo la respuesta óptima para las condiciones de desinfección de las semillas y donde se observa que la concentración de etanol y sorbato son significativas al 90% de confianza ($p < 0.1$).

Tabla 17. Análisis de varianza del modelo de regresión para el diseño con función de deseabilidad al 90%

| Factor | Valor_p |
|---------------|----------------|
| AL | 0.279 |
| AA | 0.92 |
| ET | 0.018 |
| SO | 0.058 |
| BE | 0.917 |

A partir del análisis de varianza podemos decir que como en este estudio, se emplearon concentraciones de 22.25%, 27% y 31.75% de etanol y 1.3%, 3.15% y 5% de sorbato de potasio de acuerdo al diseño experimental aplicado a las semillas de quinua, se observó que las distintas concentraciones de etanol y sorbato de potasio (en nuestro rango experimental) no interfieren en la capacidad germinativa de las semillas. La ecuación 2 describe el comportamiento de los desinfectantes utilizados.

$$F(D) = 0.5338 + 0.0621 AL - 0.0056 AA - 0.1563 ET - 0.1171 SO \\ + 0.0057 BE \text{ (Ecuación 2)}$$

Sin embargo, esta ecuación fue reducida (*Ecuación 3*) a las variables significativas:

$$F(D) = 0.5338 - 0.1563 ET - 0.1171 SO \text{ (Ecuación 3)}$$

3.6 Análisis de microorganismos patógenos en la muestra optimizada de quinua germinada

En base a los resultados de la tabla 15, la muestra con mayor función de deseabilidad fue la TQ12, la cual fue sembrada (sección 2.2.10) y los resultados mostraron que tanto la placa VRB como la SS mostraban una ligera presencia de bacterias coliformes y ausencia de enterobacterias; pero no son apropiadas para recuento microbiano de bacterias coliformes, aunque es deseable realizarlo para confirmar que no se supera los límites establecidos en la norma correspondiente.

Las bacterias coliformes son importantes indicadores de una posible presencia de contaminación fecal o de la calidad del agua, por esta razón su cuantificación y detección son esenciales para garantizar la seguridad pública (Tambi et al., 2023). Las enterobacterias son indicadores de la presencia de microorganismos patógenos, y en este estudio se evidenció que no existe la presencia de los mismos.

CONCLUSIONES

Las semillas de quinua poseían diámetros de 0.6, 1 y 2 mm, los cuáles no eran factores que afectaran la capacidad germinativa de las semillas. Las semillas de amaranto fueron consideradas como granos de grado 3 de calidad por su tamaño inferior a 0.87 mm, no obstante, otros parámetros como su masa hectolítrica (86.73 kg/hl) y su color son considerados como grado 1 de calidad.

Con relación a la no afectación a la capacidad germinativa en las semillas de quinua, los resultados evidencian que el porcentaje de germinación se ve afectado; pero no anulado por concentraciones elevadas de ácido láctico (3.5%). En cambio, no se observan interferencias de germinación con el uso de ácido acético (3.5%) y etanol (31.75%) a las concentraciones utilizadas en el presente estudio. Respecto, a la capacidad germinativa de las semillas de amaranto fue totalmente nula y esto se debe a las elevadas concentraciones de ácido láctico (0.5%) y es necesario estudiar una posible acción antagónica de las demás sustancias aplicadas en la mezcla.

Acerca de la carga microbiana de las semillas de quinua, a partir de la respuesta óptima de las condiciones de desinfección, podemos concluir que las concentraciones empleadas de etanol y sorbato de potasio en este trabajo son significativas; sin embargo, es recomendable tratar de reducirlas puesto que, aunque no afectan la capacidad germinativa de las semillas y disminuyen la carga microbiana, también disminuyen la aceptabilidad del producto obtenido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aderibigbe, O. R., Ezekiel, O. O., Owolade, S. O., Korese, J. K., Sturm, B., & Hensel, O. (2020). Exploring the potentials of underutilized grain amaranth (*Amaranthus* spp.) along the value chain for food and nutrition security: A review. *Taylor & Francis*, 1-15. doi:10.1080/10408398.2020.1825323
- Aloo, S., Ofosu, F., Kilonzi, S., Shabbir, U., & Oh, D. (2021). Edible Plant Sprouts: Health Benefits, Trends, and Opportunities for Novel Exploration. *Nutrients*, 1-24.
- Amilia, N. F., Sukor, R., Rukayadi, Y., & Zannierah, A. M. (2023). The efficacy of sodium benzoate and potassium sorbate in inhibiting the growth of food fungi and bacteria. *Songklanakarín J. Sci. Technol*, 45(1), 138-145.
- Anaya, R. B., Cruz, E. D., Centeno, L. M., Córdor, R., León, R., & Carhuaz, R. (2022). Food and Medicinal Uses of Ancestral Andean Grains in the Districts of Quinoa and Acos Vinchos (Ayacucho-Peru). *Agronomy*, 12(1014), 1-17. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy12051014>
- Arenas, L. C., & Heredia, A. K. (2017). Calidad y germinación de semillas de quinua *Chenopodium quinoa* Willd. almacenadas artesanalmente por productores. (*Tesis de grado*). Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Bogotá.
- Barban-Espín, G., Hernández, J., & Diaz-Vivancos, P. (2012). Role of H₂O₂ in pea seed germination. *Plant Signal Behav*, 193-195.
- Basantes Morales, E. R. (2015). Cultivos Andinos. En E. R. Basantes Morales, *Manejo de cultivos andinos del Ecuador* (págs. 81-95). Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

- Basantes, F., Aragón, J. P., & Albuja, M. (2022). Cultivo de amaranto. En "*Cultivos Andinos de importancia agro productiva y comercial en la Zona 1 del Ecuador*" (págs. 161-164). Ibarra, Ecuador: Universitaria Técnica del Norte.
- Baskin, J. M., & Baskin, C. C. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, 1-16.
- Bastidas, E. G., Roura, R., Rizzolo, D. A., Massanés, T., & Gomis, R. (2016). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), from nutritional value to potential health benefits: an integrative review. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 6, 1-10. doi:10.4172/2155-9600.1000497
- Batlla, D., & Benech-Arnold, R. L. (2015). A framework for the interpretation of temperature effects on dormancy and germination in seed populations showing dormancy . *Seed Science Research*, 1-12.
- Bender, D., & Schönlechner, R. (2021). Recent developments and knowledge in pseudocereals including technological aspects. *Acta Aliment*, 4, 583-609. doi:10.1556/066.2021.00136
- Bhatia, S., Garg, S., & Kumari, A. (2015). Evaluating the efficacy of EDTA, grapefruit seed extract, lysozyme and sodium benzoate incorporated in starch-glycerol based antimicrobial food packaging film . *Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 120-126.
- Blasco-Rubio, P. (2022). Semillas de quinoa: aspectos nutricionales y saludables. (*Trabajo Fin de Grado*). Universidad Zaragoza, Zaragoza, España.

- Bojórquez-Velázquez, E., Talamantes-Herrera, F. A., Cerritos-Castro, I. T., Valles, S., & Barba de la Rosa, A. P. (2021). Molecular Characterisation of Seed Storage Proteins (SSPs) in Grain Amaranth. En D. Adhikary, M. k. Deyholos, & J. P. Délano-Frier, *The Amaranth Genome* (págs. 55-79). New Delhi, India: Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-72365-1_5
- Buchanan, R. L., Havelaar, A. H., Smith, M. A., Whiting, R. C., & Julien, E. (2009). The Key Events Dose-Response Framework: Its Potential for Application to Foodborne Pathogenic Microorganisms. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49, 718-728. doi:10.1080/10408390903116764
- Cacciatore, F. A., Brandelli, A., & Da Silva Malheiros, P. (2020). Combining natural antimicrobials and nanotechnology for disinfecting food surfaces and nanotechnology for disinfecting food surfaces and control microbial biofilm formation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-12. doi:10.1080/10408398.2020.1806782
- Cano-Naranjo, E. E. (2022). Valor nutricional y biológico del amaranto variedad *Amaranthus caudatus* L. (kiwicha). (*Trabajo de Titulación*). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Castro, D. J. (2024). Optimización de las condiciones de germinación de amaranto a través de modelos factoriales y métodos multicriterio. *Repositorio de la Universidad del Azuay*, 1-71.

- Cava, R., Sangronis, E., Rodríguez, M., & Colina, J. (noviembre de 2009). Calidad Microbiológica de Semillas Germinadas de *Phaseolus vulgaris*. *Interciencia*, 34(11), 796-800.
- Chen, L., Zhang, H., Liu, Q., Pang, X., Zhao, X., & Yang, H. (2019). Sanitising efficacy of lactic acid combined with low-concentration sodium hypochlorite on *Listeria innocua* in organic broccoli sprouts. *International Journal of Food Microbiology*, 41-48. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.02.014>
- Coelho, L., Silva, P., Martins, J., Pinheiro, A., & Vicente, A. (2018). Emerging opportunities in exploring the nutritional/functional value of amaranth. *Food Function*, 5499-5512. doi:10.1039/c8fo01422a
- Cruz, M. A. (2017). Aplicaciones de la Semilla Germinada de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en la mejora Nutricional de los preparados Alimentarios. *Repositorio de la Universidad Nacional de Trujillo* , 1-33.
- Dakhili, S., Abdolalizadeh, L., Marzieh-Hosseini, S., Shojae-Aliabadi, S., & Mirmoghtadaie, L. (2019). Quinoa Protein: Composition, structure and functional properties. *Food Chemistry*, 1-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125161>
- Das, S. (2016). Amaranths: The Crop of Great Prospect. En S. Das, "*Amaranthus: A Promising Crop of Future*" (págs. 13-14). West Bengal, India: Springer. doi:10.1007/978-981-10-1469-7_3

- Datta, R., & Henry, M. (2006). Lactic acid: recent advances in products, processes and technologies – a review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 1119-1129. doi:10.1002/jctb.1486
- Dekaboruah, E., Vasant, M. S., Chettri, D., & Kumar, A. V. (2020). Human microbiome: an academic update on human body site specific surveillance and its possible role. *Archives of Microbiology*, 202, 2147-2167. doi:https://doi.org/10.1007/s00203-020-01931-x
- Derić, N. R., Todorić, O. M., Rošul, M. D., Kocić-Tanackov, S. D., Sikora, V. Š., Kiproviski, B. M., & Mandić, A. I. (2020). Influence of different chemical agents and storage conditions on the microbiological content of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds. *Food and Feed Research*, 159-168.
- Ding, H., Fu, T. J., & Smith, M. A. (2013). Microbial Contamination in Sprouts: How Effective Is Seed Disinfection Treatment? *Journal of Food Science*, 1-7.
- El Hazzam, K., Hafsa, J., Sobeh, M., Mhada, M., Taourirte, M., EL Kacimi, K., & Yasri, A. (2020). An Insight into Saponins from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): A Review. *Molecules*, 1-22. doi:10.3390/molecules25051059
- Escudero Álvarez, E., & González Sánchez, P. (2006). La fibra dietética . *Nutrición Hospitalaria* , 61-72.
- European Sprouted Seeds Association. (2022). Directrices de higiene para la producción de brotes y semillas para germinación de la ESSA. Bruselas: Comisión Europea.
- Finch-Savage, W. E., & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination . *New Phytologist*, 501-523.

- Fraser, A. M., Anderson, J., Goncalves, J., Black, E., Starobin, A., Starobin, A., . . . Hollingsworth, J. (2021). Sanitizers and disinfectants: a retail food and foodservice perspective . *Food Protection Trends* , 358-367.
- Galili, G., Avin-Wittenberg, T., Angelovici, R., & Fernie, A. R. (2014). The role of photosynthesis and amino acid metabolism in the energy status during seed development. *Frontiers in Plant Science*, 1-5.
- Gan, R., Lui, W., Wu, K., Chan, C., Dai, S., Sui, Z., & Corke, H. (2016). Bioactive Compounds and Bioactivities of Germinated Edible Seeds and Sprouts: An Updated Review. *Trends in Food Science & Technology*, 59, 1-14.
- Gilbert, G. S., Diaz, A., & Bregoff, H. A. (2023). Seed Disinfestation Practices to Control Seed-Borne Fungi and Bacteria in Home Production of Sprouts. *Foods*, 12, 1-17. doi:<https://doi.org/10.3390/foods12040747>
- Giuliani, A., Hintermann, F., Rojas, W., & Padulosi, S. (2012). Andean grains: state of the art. En *Biodiversity of Andean grains: balancing market potential and sustainable livelihoods* (págs. 10-12). Rome: Bioersivity International .
- Gu, R., Chang, X., Guotao, B., Li, X., Di, Y., Liu, X., . . . Wang, Y. (2021). Effects of household cooking methods on changes of tissue structure, phenolic antioxidant capacity and active component bioaccessibility of quinoa . *Food Chemistry*, 1-9.
- Guerrero-Salazar, M. E. (2020). Propuesta para la elaboración de una barra energética a base de pseudocereales, banano deshidratado, nibs de cacao, pan de abeja y miel. (*Trabajo de titulación*). Universidad de Guayaquil, Guayaquil.

- Hamad, S. H. (2012). Factors Affecting the Growth of Microorganisms in Food. *Progress in Food Preservation* , 405-427 .
- Harvey-Infante, R., Albesiano, S., Arrieta V, L., & Gómez V, N. (2018). Morphological characterization of varieties of *Chenopodium quinoa* cultivated in the department of Boyacá, Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient*, 21(2), 329-339.
- Hernández-Ledesma, B. (2019). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a source of nutrients and bioactive compounds: a review. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 2(3), 27-47.
- Iftikhar, M., & Khan, M. (2019). Amaranth. En J. Wang, B. Sun, & R. Tsao, *Bioactive Factors and Processing Technology for Cereal Foods* (1 ed., págs. 217-232). Singapore: Springer Nature Singapore. doi:<https://doi.org/10.1007/978-981-13-6167-8>
- Jan, N., Hussain, S. Z., Naseer, B., & Bhat, T. A. (2023). Amaranth and quinoa as potential nutraceuticals: A review of anti-nutritional factors, health benefits and their applications in food, medicinal and cosmetic sectors. *Food Chemistry*:x, 18, 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100687>
- Jiménez-Sánchez, E. V. (2017). Caracterización morfológica, física y fenológica de cuatro variedades de amaranto (*Amaranthus* sp.) para las condiciones meteorológicas del cantón Cevallos. (*Documento Final del Proyecto de Investigación*). Universidad Técnica de Ambato, Cevallos.

- Kulkarni, S. S., & Chavan, P. D. (2012). Influence of lactic acid on seed germination of finger millet (*Eleusine Coracana* Gaertn.) . *International journal of Applied biology and pharmaceutical technology* , 242-247.
- Lalaleo, L., Hidalgo, D., Valle, M., Calero-Cáceres, W., Lamuela-Raventós, R. M., & Becerra-Martínez, E. (2020). Differentiating, evaluating, and classifying three quinoa ecotypes by washing, cooking and germination treatments, using H NMR-based metabolomic approach. *Food Chemistry* , 1-8.
- Lamothe, L. M., Srichuwong, S., Reuhs, B. L., & Hamaker, B. R. (2015). Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) and amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) provide dietary fibres high in pectic substances and xyloglucans. *Food Chemistry*, 490-496.
- Lopes, C. O., Barcelos, M. F., Vieira, C. N., Abreu, W. C., Ferreira, E. B., Pereira, R. C., & Angelis-Pereira, M. C. (2018). Effects of sprouted and fermented quinoa (*Chenopodium quinoa*) on glycemic index of diet and biochemical parameters of blood of Wistar rats fed high carbohydrate diet. *J Food Sci Technol*, 56, 1-8. doi:<https://doi.org/10.1007/s13197-018-3436-z>
- Maktabi, S., Pourmahdi, M. B., & Elahinia, L. (2022). Decontamination of Salmonella Typhimurium and Listeria monocytogenes on Food-Related Surfaces by a Combination of Sodium Dodecyl Sulfate, Lactic Acid, or Citric Acid Under Different Temperatures. *Avicenna Journal of Clinical Microbiology and Infection*, 9(4), 157-164. doi:10.34172/ajcmi.2022.3416
- Malik, M., Sindhu, R., Bala Dhull, S., Bou-Mitri, C., Singh, Y., Panwar, S., & Singh Khatkar, B. (2023). Nutritional Composition, Functionality, and Processing Technologies for

- Amaranth. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1-24.
doi:<https://doi.org/10.1155/2023/1753029>
- Maradini, A. M., Ribeiro, M. P., Da Silva Borges, J. T., Pinheiro Sant'Ana, H. M., Paes, J. B., & Dos Reis Coimbra, J. S. (2015). Quinoa: Nutritional, Functional and Antinutritional Aspects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-52.
doi:10.1080/10408398.2014.1001811
- Martinez-Lopez, A., Millan-Linares, M., Rodriguez-Martin, N., Millan, F., & Montserrat-de la Paz, S. (2019). Nutraceutical value of kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.). *Journal of Functional Foods*, 1-13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103735>
- Martínez-Villaluenga, C., Peñas, E., & Hernández-Ledesma, B. (marzo de 2020). Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. *Food and Chemical Toxicology*, 137(111178), 1-26. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111178>
- Matyushev, V. V., Chaplygina, I. A., Semenov, A. V., & Belyakov, A. A. (2021). The Influence of Germinated Grain Mix on the Quality of Extruded Fodder. *Journal of World Poultry Research* , 252-258.
- Melini, V., & Melini, F. (2021). Functional Components and Anti-Nutritional Factors in Gluten-Free Grains: A Focus on Quinoa Seeds. *Foods*, 10(351), 1-27.
doi:<https://doi.org/10.3390/foods10020351>
- Menacho, L. M., López, W. D., Martínez, W. E., Paredes, L. J., & Villaluenga, C. M. (2022). Improving Nutritional and Health Benefits of Biscuits by Optimizing Formulations

Based on Sprouted Pseudocereal Grains. *Foods*, 11(1533), 1-19.
doi:<https://doi.org/10.3390/foods11111533>

Mir, S. A., Farooq, S., Shah, M. A., Sofi, S. A., Dar, B. N., Hamdani, A. M., & Mousavi Khaneghah, A. (2021). An overview of sprouts nutritional properties, pathogens and decontamination technologies. *LWT*, 141, 1-9. doi:10.1016/j.lwt.2021.110900

Ng, C. Y., & Wang, M. (2021). The functional ingredients of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and physiological effects of consuming quinoa: A review. *Food Frontiers*, 2, 329-356.

NTE INEN 2646, N. T. (2012). Granos y cereales. Grano de Amaranto. Requisitos e Inspección.

Obroucheva, N. V., Sinkevich, I. A., Lityagina, S. V., & Novikova, G. V. (2017). Water Relations in Germinating Seeds. *Russian Journal of Plant Physiology*, 64(4), 625-633.

Pastor, L. M. (2023). Efectos de las condiciones de germinación en las características sensoriales y tecnológicas de la cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) . *Repositorio de la Universidad del Azuay*, 1-98.

Pathan, S., & Siddiqui, R. A. (2022). Nutritional Composition and Bioactive Components in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Greens: A Review. *Nutrients*, 1-12.
doi:<https://doi.org/10.3390/nu14030558>

Peralta, I. E., Villacrés, E., & Mazón, N. (2013). Granos andinos: quinua, chocho, amaranto y ataco Valor nutricional y funcional. (*Boletín Divulgativo no. 430*). INIAP, Estación

Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos, Quito, Ecuador.

Pereira, W. A., Pereira, S. M., & Días, D. C. (2013). Influence of seed size and water restriction on germination of soybean seeds and on early development of seedlings. *Journal of Seed Science*, 35(3), 316-322.

Phornvillay, S., S., Y., Oonsrithong, J., Srilaong, V., & Pongprasert, N. (2022). A Novel Technique Using Advanced Oxidation Process (UV-C/H₂O₂) Combined with Micro-Nano Bubbles on Decontamination, Seed Viability, and Enhancing Phytonutrients of Roselle Microgreens . *Horticulturae* , 1-12.

Pita, J. M., & Pérez, F. G. (1998). Germinación de semillas . *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*, 1-20.

Prado, W. J. (2020). Pseudocereales andinos: valor nutritivo y aplicaciones para alimentos libres de gluten. (*Trabajo Fin de Máster*). Universitat Politècnica de València, Valencia.

Ramírez, E. C. (2006). Frecuencia de Microorganismos Indicadores de Higiene y Salmonella y El Comportamiento de Grupos Patogenos de Escherichia coli en Germinado de Soya. (*Tesis de grado*). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca de Soto, Hidalgo, México.

Rosli, N. M., & Tang, J. Y. (2018). Effect of Different Conditions of Citric Acid and Acetic Acid Decontamination against Esherichia coli in Lettuce. *J. Agrobiotech*, 9, 54-61.

- Sarmah, P., M., D. M., Adapa, D., & Sarangi, T. K. (2018). A Review on Common Pathogenic Microorganisms and Their Impact on Human Health. *Electronic Journal of Biology*, 14(1), 50-58.
- Saunders, N., & Everis, L. (2014). Decontamination processes. En N. Saunders, & L. Everis, *Use of treatments to prevent the growth of pathogens on sprouted seeds* (págs. 1-74). UK: Campden BRI.
- Schmidt, D., Verruma- Bernardi, M. R., Forti, V. A., & Mendes, M. T. (2021). Quinoa and Amaranth as Functional Foods: A Review. *Food Reviews International*, 1-20. doi:10.1080/87559129.2021.1950175
- Sela, A., Piskurewicz, U., Megies, C., Méne-Saffrané, L., Finazzi, G., & Lopez-Molina, L. (2020). Embryonic Photosynthesis Affects Post-Germination Plant Growth . *Plant Physiology*, 2166-2181.
- Shomodder, A., Thammawong, M., & Nakano, K. (2022). Postharvest Technologies for Quality Maintenance of Sprouts. *Agricultural Science*(10), 239-256. doi:https://doi.org/10.7831/ras.10.0_239
- Sisti, M. S. (2020). Proteínas y fibra de amaranto: Actividad sobre el metabolismo de colesterol. *Repositorio de la Universidad Nacional de la Plata*, 1-157 .
- Soto-Toro, D. (2011). Efecto de distintos sanitizantes en las características funcionales y microbiológicas en brotes de alfalfa bajo condiciones de atmósfera modificada. *Repositorio Académico de la Universidad de Chile* , 1-62.
- Suárez, D., & Melgarejo, L. M. (2014). Biología y germinación de semillas. *Tesis de grado*. Universidad Nacional de Colombia , Colombia.

- Suárez-Estrella, D., Borgonovo, G., Buratti, S., Ferranti, P., Accardo, F., Ambrogina, M. P., & Marti, A. (2021). Sprouting of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Effect on saponin content and relation to the taste and astringency assessed by electronic tongue. *LWT*, 1-7. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111234>
- Suárez-Estrella, D., Borgonovo, G., Buratti, S., Ferranti, P., Accardo, F., Ambrogina-Pagani, M., & Marti, A. (2021). Sprouting of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Effect on saponin content and relation to the taste and astringency assessed by electronic tongue. *LWT*, 1-7.
- Suquillo, C. L. (2018). Evaluación del efecto de microgravedad simulada sobre la obtención de germinados de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y amaranto (*Amaranthus caudatus* L.). *Repositorio de la Escuela Politécnica Nacional* , 1-108.
- Szopińska, D. (2013). The effects of organic acids treatment on germination, vigour and health of zinnia (*Zinnia elegans* Jacq.) seeds. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* , 17-29
- Tambi, A., Brighu, U., & Gupta, A. B. (2023). Methods for detection and enumeration of coliforms in drinking water: a review. *Water Science & Technology: Water Supply*, 4047-4058.
- Torres, K. J., & Chávez, K. J. (2016). Efecto del ácido láctico y ácido cítrico, como sanitizante y antioxidante en tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) germinada y almacenada en refrigeración. (*Tesis de grado*). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

- Tovar-Pérez, E., Lugo-Radillo, A., & Aguilera-Aguirre, S. (2018). Amaranth grain as a potential source of biologically active peptides: a review of their identification, production, bioactivity, and characterization. *Food Reviews International*, 1-25.
- Tuan, P. A., Sun, M., Nguyen, T.-N., Park, S., & Ayele, B. T. (2019). Molecular mechanisms of seed germination. En *Sprouted Grains* (págs. 1-24). AACC International Press.
- Valenzuela-Zamudio, F., & Segura-Campos, M. (2020). Amaranth, quinoa and chia bioactive peptides: a comprehensive review on three ancient grains and their potential role in management and prevention of Type 2 diabetes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-16.
- Vargas-Zambrano, P., Arteaga-Solorzano, R., & Cruz-Viera, L. (2019). Análisis bibliográfico sobre el potencial nutricional de la quinua (*Chenopodium quinoa*) como alimento funcional. *Revista Centro Azúcar*, 46(4), 89-100.
- Vásquez-Remache, B. E. (2022). Modelos factoriales y métodos multicriterio para la optimización de las condiciones de germinación de quinua para consumo. *Repositorio de la Universidad del Azuay*, 1-83.
- Velarde-Salcedo, A. J., Bojórquez-Velázquez, E., & Barba de la Rosa, A. P. (2019). Amaranth. En J. Johnson, & T. Wallace, *Whole Grains and their Bioactives* (págs. 209-250). Virginia, USA.
- Vilcacundo, R., & Hernández-Ledesma, B. (2017). Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Current Opinion in Food Science*, 1-6.
- Wajid, H. A., Alderfasi, A. A., Afzal, I., Junaid, M. B., Mahmood, A., Ahmad, A., . . . Tahir, M. U. (2018). Evaluating the Potential Effect of Seed Priming Techniques in

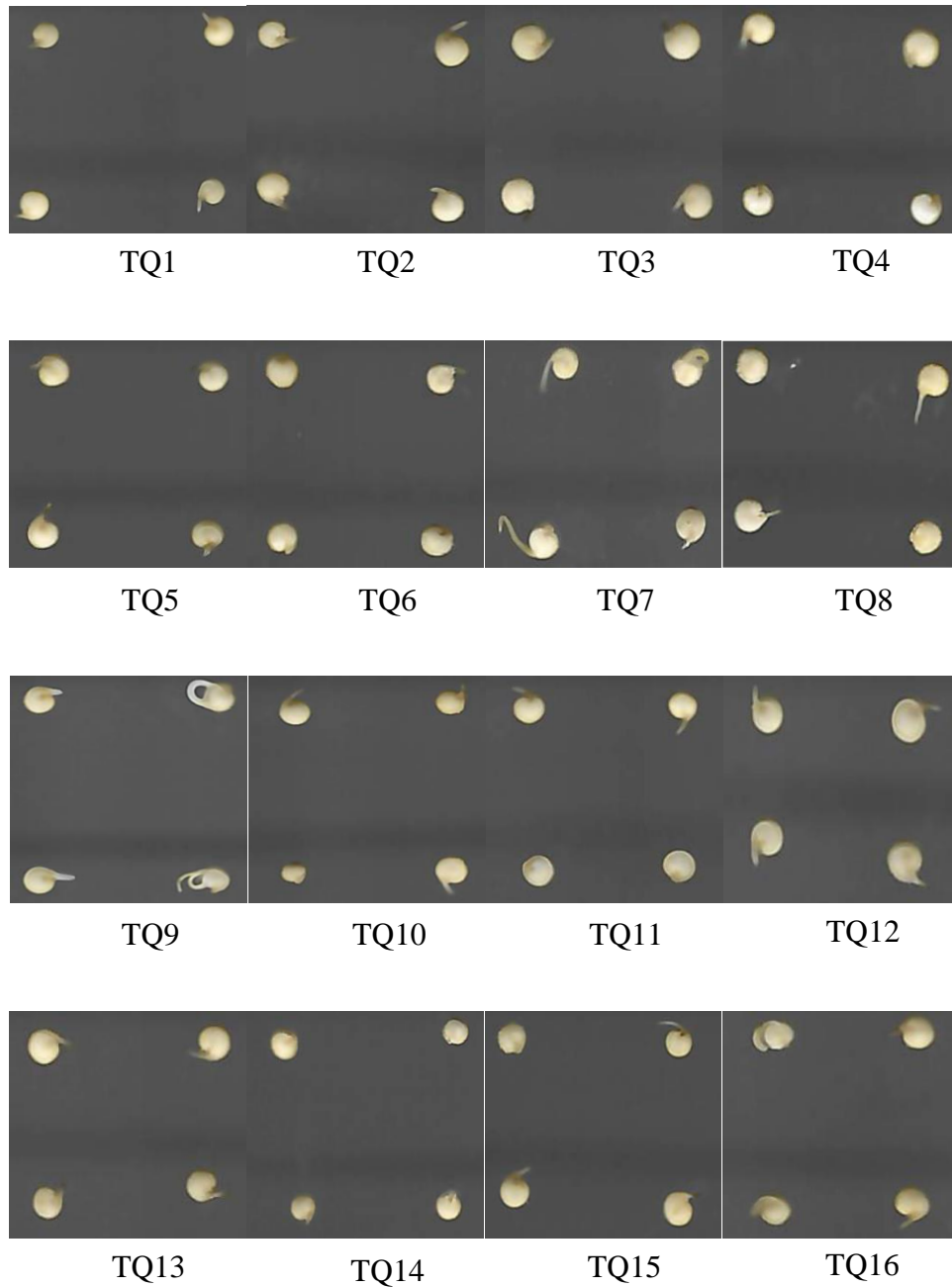
Improving Germination and Root Shoot Length of Maize Seed. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 5-15.

Zhu, F. (2020). Dietary fiber polysaccharides of amaranth, buckwheat and quinoa grains: A review of chemical structure, biological functions and food uses. *Carbohydrate Polymers*, 1-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116819>

Zipa, A. D., & Mila, J. A. (2021). Efecto de hongos patógenos en la producción de forraje verde hidropónico. *Repositorio de la Universidad de Cundinamarca*, 1-39.

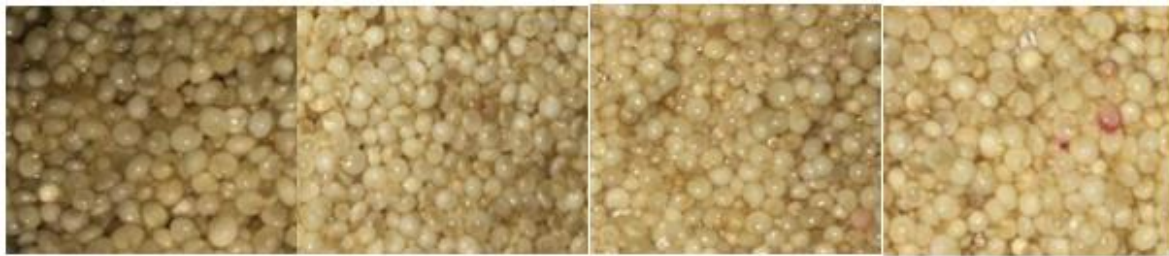
ANEXOS

Anexo 1. Muestras de semillas de quinua germinadas bajo las diferentes condiciones experimentales



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Semillas de amaranto colocadas bajo las diferentes condiciones experimentales

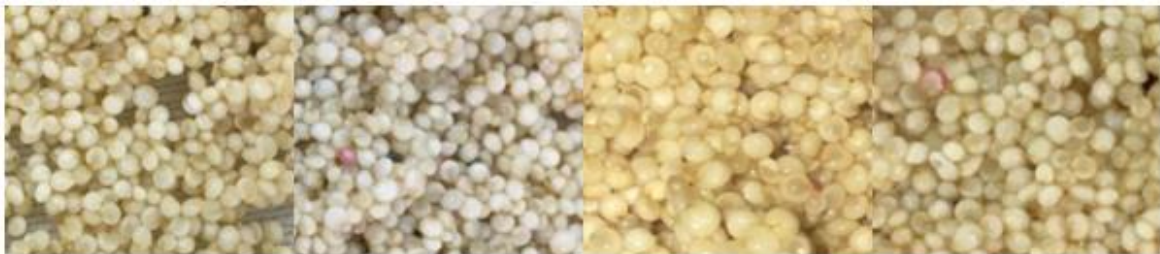


TA1

TA2

TA3

TA4

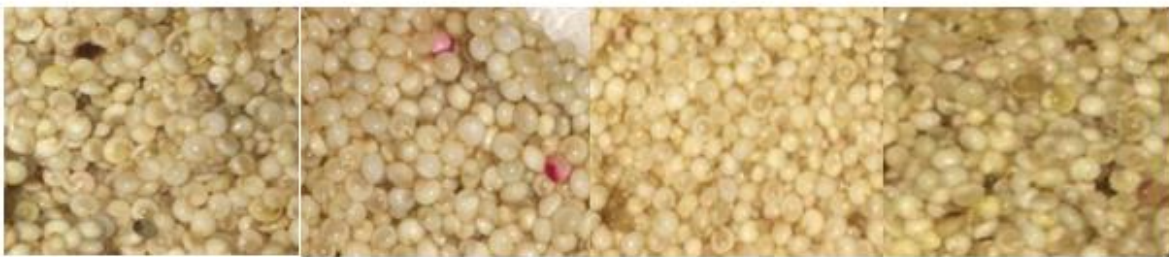


TA5

TA6

TA7

TA8

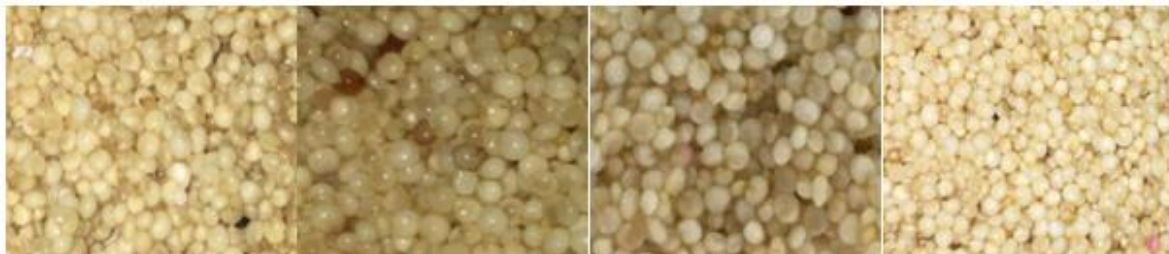


TA9

TA10

TA11

TA12



TA13

TA14

TA15

TA16

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3. Indicaciones de la ficha de cata para semillas de quinua germinada

Instrucciones para la ficha de catación para semillas de quinua germinada

Por favor, lea detenidamente las instrucciones sobre los diferentes parámetros a evaluar en la ficha de catación. Conforme a cada uno de los niveles de la escala hedónica, seleccione una opción del 1 al 7 de cada uno de los atributos, siendo “1” la valoración más baja y “7” la valoración más alta. Considere lo siguiente para:

Atributo visual

Aspecto: Marque si le gusta o disgusta la apariencia de la semilla de quinua presentada.

Atributo olfativo

Intensidad: En base a su criterio marque los niveles indicados, es decir, si la intensidad del aroma de la semilla le gusta o le disgusta.

Ejemplo: Si una persona lleva un perfume con un aroma muy fuerte, la intensidad del mismo sobre otras personas será desagradable y les disgustará, mientras que un perfume con aroma suave y agradable les gustará.

Aroma: Seleccione de acuerdo a su opinión si el aroma de la semilla le gusta o disgusta.

Especifique el aroma: Describa qué aroma es el que más encaja con su criterio, por ejemplo, pasto, manzana, flores, etc.

Nota: Únicamente estos son ejemplos de aromas.

Atributo gustativo

Amargor: Conforme a los niveles indicados, marque si le gusta o disgusta.

Astringencia: La astringencia es una sensación de amargor y sequedad intensa producida en la boca luego de la ingesta de un alimento. En base a lo descrito anteriormente, seleccione la mejor opción de acuerdo a su criterio.

Gusto: Una vez ingeridas las semillas, escoja de acuerdo a los niveles indicados, si le gusta o disgusta.

Regusto: Es importante tener en cuenta que, al evaluar este parámetro, una vez ingerida cierta cantidad de semillas, se debe esperar unos minutos para marcar la respuesta.

Impresión global de las semillas de quinua germinada

Aceptabilidad general: Basándose en su criterio personal, ¿Cómo definiría a las semillas de quinua germinada: le gusta o disgusta?

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4. Ficha de catación-sensorial para semillas de quinua germinada

| Ficha de catación-sensorial para semillas de quinua germinada | | | | | | | |
|--|-------------------|---------------------------|------------------|-------------------------|---------------|------------------------|----------------|
| Agradezco su ayuda para realizar la degustación de las semillas de quinua germinada. Por favor, en el orden que se solicite deguste las muestras y marque con una (x) el atributo que mejor describa la característica indicada, según su opinión. | | | | | | | |
| Tómese el tiempo necesario para evaluar cada parámetro | | | | | | | |
| Nombre: | | | | | | | |
| Muestra: | | | | Fecha: | | | |
| Seleccione una opción del 1 al 7 para cada atributo, de acuerdo a lo indicado en la tabla de la escala hedónica (siendo "1" la valoración más baja y "7" la valoración más alta). | | | | | | | |
| Escala hedónica | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Características | Me disgusta mucho | Me disgusta moderadamente | Me disgusta poco | No me gusta ni disgusta | Me gusta poco | Me gusta moderadamente | Me gusta mucho |
| | | | | | | | |
| Visual | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Aspecto | | | | | | | |
| Olfativo | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Intensidad | | | | | | | |
| Aroma | | | | | | | |
| Especifique el aroma: | | | | | | | |
| Gustativo | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Amargor | | | | | | | |
| Astringencia | | | | | | | |
| Gusto | | | | | | | |
| Regusto | | | | | | | |
| Impresión global de las semillas de quinua germinada | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Aceptabilidad general | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.