



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Ingeniería en Alimentos

Estandarización del proceso de germinación en semillas de amaranto

Noviembre 2024

**Tesina para obtener el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería de Alimentos**

Presenta: Brenda Estephania Cordero Torres

Matrícula: 201743359

Director de tesina: María Elena Ramos Casellis

CTAI01



**Benemérita Universidad
Autónoma de Puebla**
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



CIUDAD UNIVERSITARIA

Dra. Valeria Jordana González Coronel

**Secretaria Académica de la
Facultad de Ing. Química BUAP
Presente**

**ASUNTO:
AUTORIZACIÓN
IMPRESIÓN DE TESINA**

Por este conducto me permito presentar a Ud. al C. pasante de la carrera de Ingeniería Química

Brenda Estephania Cordero Torres

Quién presenta como tema de tesina:

Estandarización del proceso de germinación en semillas de amaranto.

La cual ha sido debidamente revisada y se autoriza para su impresión correspondiente.

Sin otro particular y para los fines que se estimen conducentes reitero mi distinción.

ATENTAMENTE

“Pensar Bien, para Vivir Mejor”

H. Puebla de Z., a 22 de Julio de 2024

María Elena Ramos Cassellis

Director de Tesina

.....

CTRTO1



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

Dra. Valeria Jordana González Coronel

**Secretaria Académica de la
Facultad de Ing. Química BUAP.
Presente.**

Asunto:

Registro de Tema de Tesina de la
Licenciatura en Ingeniería

El (La) que suscribe:

Brenda Estephania Cordero Torres

Me permito solicitar a usted el Registro de Tema de Tesina Profesional, denominado:

Estandarización del proceso de germinación en semillas de amaranto.

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN
CAPITULO 1 ANTECEDENTES
CAPITULO 2 METODOLOGÍA
CAPITULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFÍA

Director de Tesina: D.C. Maria Elena Ramos Casellis

ATENTAMENTE

H. Puebla de Z.; a 30 de Julio de 2024

Nombre y matricula: Brenda Estephania Cordero Torres
Dirección: **calle suiza #25 col. GeoVillas del Sur**
e-mail y teléfono: brenestepha2812@gmail.com (2225060493)

**Vo. Bo.
COMISIÓN DE TITULACIÓN**

M.I. Juan Carlos Pichardo Macías
M. Carlos Hernández Maceda

**Vo. Bo. DIRECTOR DE TESINA
INTERNO**

NOMBRE COMPLETO: Ma. Elena Ramos Casellis
Dependencia: FIQ

Agradecimientos

A Dios, por darme la oportunidad de vivir, gozar de buena salud y guiarme día a día para alcanzar mis objetivos

A mis padres, por amarme incondicionalmente, apoyarme, alentarme y ser una guía en cada paso desde que tengo uso de razón. Gracias por hacer de mí, la mujer que soy hoy, aprendí mucho de ustedes, los amo y espero ser motivo de su orgullo.

A mi hermano, por soportarme y quererme, espero ser un buen ejemplo para ti, te amo. A mi hermosa familia, por creer en mí y apoyarme siempre.

A mi mejor amiga, Daniela, por siempre estar y creer en mí; a Dennise y Esther, por su amistad e inmenso apoyo; a mis amigos de toda la vida. Gracias por nunca dejarme sola, crecer conmigo, por las risas y por estar en las buenas y en las malas.

A mis amigos de la universidad, por los momentos de estrés y alegría durante este largo y retador camino.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por abrirme sus puertas y brindarme los conocimientos necesarios para desempeñar mi profesión y poder dejar mi marca en el mundo.

A mi compañera Janny por ser una guía importante durante el desarrollo de este proyecto.

A la Doctora Casellis, por brindarme sus conocimientos y valiosos consejos, por ser tan accesible, comprensiva y constante, sin usted no habría sido posible este trabajo, gracias.

Índice

1.	Introducción	7
2.	Planteamiento del problema	8
3.	Justificación	9
4.	Objetivo General	10
5.	Objetivos específicos	10
6.	Hipótesis	10
7.	Marco conceptual	10
7.1	Historia del amaranto	10
7.2	Características del amaranto.....	11
7.3	Usos y producción del amaranto	11
7.4	Propiedades nutricionales del amaranto	12
7.5	Estructura del grano	15
7.6	Germinación.....	17
7.7	Factores que afectan a la germinación.....	20
7.8	Aplicaciones del amaranto germinado	21
8.	Diagrama de flujo.....	23
9.	Metodología.....	24
9.1	Caracterización de la semilla.....	24
9.1.1	Método del cuarteo.....	24
9.1.2	Mil granos	24
9.1.3	Peso hectolítrico	24
9.1.4	Índice de flotación	25
9.3	Determinación del tipo de agua y el tiempo de remojo	25
9.4	Determinación del tipo de iluminación y material	25
9.5	Reproducción del método con mayor rendimiento	25
9.6	Evaluación de la plántula y su rendimiento	26
10	Resultados.....	26
10.1	Caracterización de la semilla.....	26
10.2	Determinación de las condiciones de germinación	29
11	Conclusiones	39
12	Referencias.....	40
13	Cronograma	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del grano de amaranto	16
Figura 2 Bolsa de semillas de <i>Amaranthus hypochondriacus</i>	26
Figura 3. Prueba de germinación en vasos de plástico, usando diferentes tipos de agua de remojo	30
Figura 4. Prueba de germinación en placas Petri de plástico, usando diferentes tipos de agua de remojo..	30
Figura 5. Germinación obtenida en placa de Petri (E1 y 2)	31
Figura 6. Tamaño de plántula máximo alcanzado en la germinación en vasos de plástico (E1)	32
Figura 7. Germinación en materiales de vidrio bajo periodos de luz y luz/oscuridad	34
Figura 8. Resultados obtenidos en la germinación por inmersión en material de vidrio	35
Figura 9. Resultados obtenidos en la germinación en placa de Petri de vidrio	35
Figura 10. Germinación final de amaranto por el método de inmersión en vidrio	36
Figura 11. Germinación de amaranto	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de la semilla de amaranto	14
Tabla 2. Valor nutricional de la semilla de amaranto en comparación con otros cereales.....	15
Tabla 3. Impurezas obtenidas de la muestra representativa	27
Tabla 4. Mil granos.....	28
Tabla 5. Peso hectolitro.....	28
Tabla 6. índice de Flotación.....	29
Tabla 7. Condiciones usadas en germinación.....	31
Tabla 8. Semillas germinadas usando diferentes tipos de agua y tipo de remojo.....	32
Tabla 9. Semillas germinadas y su tamaño bajo diferentes tipos de iluminación	34
Tabla 10. Porcentaje de semillas germinadas y su tamaño promedio en el método de germinación por inmersión en vidrio.....	37
Tabla 11. Resultados obtenidos en la germinación de amaranto por inmersión, en vidrio, durante tres días	37

Estandarización del proceso de germinación en semillas de amaranto

1. Introducción

El amaranto (*amaranthus hypochondriacus*) es uno de los cultivos más antiguos de Mesoamérica, el grano se domesticó en América hace más de 4 mil años por culturas precolombinas y de allí posiblemente se difundió a otras partes del mundo. De acuerdo con Salvador en 2016, el amaranto, palabra que proviene del griego y significa: “la que no se marchita, la imperecedera”, ha ido cobrando importancia en la dinámica alimentaria mundial, sin embargo, sus antecedentes de cultivo son sumamente antiguos, por su origen y uso, el amaranto puede ser considerado un cultivo nativo de Mesoamérica. Cultivado 5000 años A.C., el amaranto (o *huauhtli*) era considerado un cereal con un alto significado social, religioso y económico antes de la conquista y era valorado en la misma proporción que al cultivo del maíz y el frijol. Hejazi *et al.*, 2015 menciona que en un estudio realizado por la Academia de Ciencias Nacional de U.S. en 1975, el amaranto fue seleccionado entre el top 36 de los cultivos más prometedores en el mundo y desde entonces este grano ha sido el sujeto de amplias investigaciones.

El consumo de germinados provee múltiples beneficios a la salud, este proceso metabólico permite que la asimilación de los nutrientes sea mucho más fácil en el proceso de digestión porque las vitaminas, minerales, proteínas y carbohidratos están más disponibles, incrementando la absorción de los nutrientes presentes en la semilla, a diferencia de su consumo en crudo. Los alimentos germinados se consideran funcionales por ser alimentos pre-digeridos que facilitan su asimilación y aprovechamiento de nutrientes en el organismo; con la germinación se incrementa el contenido de antioxidantes y además se obtienen alimentos organolépticamente agradables, además de que proporcionan cantidades importantes de fibra. Este proceso destaca por ser económico y fácil de reproducir, siempre y cuando se tengan las condiciones apropiadas que permitan obtener el mayor rendimiento posible de la semilla, por lo que se vuelve imperativo diseñar un método de germinación apropiado para lograr un mejor aprovechamiento de la semilla.

2. Planteamiento del problema

Los países en desarrollo presentan altas tasas de malnutrición y enfermedades crónicas degenerativas como son la obesidad, diabetes e hipertensión. Salvador, 2016, afirma que, en México, la obesidad y la malnutrición son un grave problema de salud pública, ante lo que las políticas de disminución de la pobreza alimentaria han tenido resultados de bajo impacto y con efectos poco visibles. Actualmente, la sociedad demanda cada vez más alimentos que no solo satisfagan el hambre, pero que también aporten beneficios a la salud, contribuyan a llevar una dieta saludable y ayuden en la prevención de enfermedades crónicas degenerativas, sumado a esto, el constante incremento de la población ha vuelto difícil el satisfacer la demanda de alimentos.

De acuerdo con el Panorama Agroalimentario del Sistema de información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), el consumo anual per cápita en México es de 43 gramos y la participación en la producción nacional de granos es de apenas el 0.1%, el amaranto se cultiva en pequeñas regiones de nuestro país, a pesar de ser un cultivo prometedor que puede cultivarse en diferentes condiciones y resistir condiciones de sequía, además de ofrecer un rendimiento mayor o similar a otros cultivos en igualdad de circunstancias, esto muy probablemente se debe a la falta de información sobre los beneficios de este pseudocereal. Por lo que, tal como Salvador, 2016 recalca, incentivar la producción, transformación y distribución de cultivos como el amaranto, constituye una opción en la búsqueda de la seguridad alimentaria nacional, mejorando las condiciones económicas de las localidades productoras de amaranto y contribuyendo en los alcances mínimos nutricionales de las dietas en comunidades en condición de vulnerabilidad. Con base en lo anterior, es imperante proponer estrategias de seguridad alimentaria que incluyan la producción de cultivos mexicanos y que, como el amaranto, posean un amplio potencial nutricional y pueden contribuir a mejorar la dieta alimenticia del mexicano y favorecer la disminución de los problemas de malnutrición.

3. Justificación

En la actualidad, la producción de alimentos altamente nutritivos se ha incrementado de manera acelerada y se han llevado a cabo estudios en los que se emplean diferentes métodos de procesamiento y gran variedad de materias primas, presentándose como alternativas para controlar los problemas de seguridad alimentaria de la población. Una manera de incrementar la composición nutricional de granos y semillas es la germinación, la cual puede aumentar considerablemente los nutrientes, además que es una práctica de bajo costo y fácil realización. Investigaciones realizadas han demostrado que los nutrientes son aprovechados de una manera efectiva por su fácil asimilación y su alta digestibilidad (Tovar-Hernández *et al.*, 2017). Preciado-Rangel *et al.*, 2018 afirma, los brotes o germinados son una fuente de carbohidratos, fibra, vitaminas, nutrimentos esenciales y compuestos bioactivos, los cuales se han relacionado con la prevención y tratamiento de enfermedades, por lo que el consumo de germinado de amaranto, aumenta los beneficios adquiridos de este pseudocereal. Se conoce muy poco sobre los factores que afectan la viabilidad y germinación de las semillas *Amaranthus hypochondriacus* por lo que encontrar el método más adecuado controlando las condiciones de germinación de la semilla (temperatura, oxigenación e iluminación) puede aumentar la tasa de semillas germinadas vs las semillas sin germinar y la biodisponibilidad de los nutrientes para su posterior consumo.

4. Objetivo General

Estandarizar el proceso de germinación de semillas de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*), a través de un método que permita obtener un rendimiento adecuado en un menor periodo de tiempo.

5. Objetivos específicos

- Caracterizar la semilla de amaranto.
- Explorar y definir el tipo de agua de remojo, así como el tiempo de remojo adecuado.
- Conocer el método con mayor germinación.
- Analizar el efecto de la germinación bajo diferentes condiciones de iluminación, usando diferentes materiales y en base a ello elegir el más adecuado.
- Replicar el método con mayor rendimiento, sumando a ello los factores determinados previamente y determinar los días necesarios para lograr el crecimiento óptimo.

6. Hipótesis

La germinación en placa de vidrio bajo periodos de luz y oscuridad, y con un remojo previo de 24 horas en agua purificada, mejora la tasa de rendimiento para la obtención de semillas germinadas de *Amaranthus hypochondriacus*.

7. Marco conceptual

7.1 Historia del amaranto

El grano de amaranto es considerado un pseudocereal, debido a sus características y propiedades semejantes a la de los cereales. El amaranto era utilizado para la realización de transacciones, lo consideraban sagrado porque resistía las sequías, y además como alimento proporcionaba vigor, así que era consumido por los guerreros para incrementar su fuerza. También estaba asociado con el sol por su color rojizo. Su cultivo se realizaba en dos zonas distintas, la primera era la tierra firme donde se sembraban al lado de maíz, frijol, calabaza u otras plantas

anuales, en milpas y la segunda que eran las chinampas, donde el amaranto también crecía al lado de otras plantas básicas de la dieta mesoamericana.

7.2 Características del amaranto

El género *Amaranthus* contiene más de 70 especies de las cuales la mayoría son nativas de América, sólo tres especies de amaranto se utilizan actualmente para la producción de grano: *A. cruentus* L., *A. caudatus* y *A. hypochondriacus* L. La semilla es pequeña, lisa, brillante de 1-1.5 mm de diámetro, ligeramente aplanada, de color blanco, aunque existen colores amarillentos, dorados, rosados, púrpuras y negros, el número de semilla varía de 1000 a 3000 por gramo.

En cuanto a su tiempo de cultivo, Salvador en 2016, menciona que el amaranto crece intensivamente y tiene una fotosíntesis por demás acelerada y efectiva sin importar la calidad del suelo donde se cultive y puede sobrevivir a zonas sin importar la calidad del suelo donde se cultiven. Esta cualidad de resistencia y adaptabilidad del cultivo a condiciones agronómicas adversas constituye una oportunidad de producción para los pequeños productores rurales.

7.3 Usos y producción del amaranto

El amaranto tiene múltiples usos tanto en la alimentación humana y animal, principalmente por su excelente calidad proteica, debido a su composición de aminoácidos esenciales que permiten una buena relación costo-beneficio desde un punto de vista nutricional, usándose también en el campo de la medicina y en la ornamentación (Castro Castro, D., 2024). Para la alimentación humana se usa el grano entero o molido en forma de harinas, ya sea tostada, reventada o hervida, las hojas tiernas en reemplazo de las hortalizas de hoja, con los granos enteros o molidos se pueden usar para preparar desayunos, sopas, postres, papillas, tortas, budines, bebidas refrescantes y otros. El grano es utilizado principalmente para la elaboración artesanal del dulce conocido como “alegría”. Por otro lado, los granos hacen una magnífica combinación con otros granos para alimentar aves de corral, o preparar cualquier otro tipo de alimentos balanceado para uso animal. En la industria se utiliza el amaranto para obtener colorantes vegetales, principalmente amarantina que se utiliza para la coloración de alimentos dando colores sumamente vistosos y agradables a la vista y de sabor característico (Luis *et al.*, 2018).

Actualmente el cultivo de Amaranto se ha difundido a nivel mundial, cultivándose en los cinco continentes. Los principales países productores de amaranto de grano son China, India, Kenia, México, Nepal, Perú, Estados Unidos, Bolivia, Pakistán, Argentina y Rusia (Luis *et al.*, 2018). En México se cultivan 11 especies de amaranto, de las cuales las especies *Amaranthus hypochondriacus L.* y *Amaranthus cruentus* son originarias del territorio nacional. Su producción se concentra más que nada en estados como Tlaxcala con el 53.61% de la producción nacional y en segundo lugar en Puebla con el 33.43% (Salvador, 2016).

7.4 Propiedades nutricionales del amaranto

La característica más importante del amaranto es, sin duda, su alto valor nutritivo. Tanto la hoja como el grano poseen una interesante composición química y un valor nutricional superior comparada con otros granos: la FAO desde 1997 lo cataloga como un cultivo con la misma cantidad de nutrientes que la soya y capacidad productiva que podría aprovecharse (Luis *et al.*, 2018). El amaranto es un alimento rico en hierro, proteínas, vitaminas y minerales, a tener en cuenta también en la osteoporosis, ya que contiene calcio y magnesio. Iza y Patín, 2018 remarcan, que el amaranto es un pseudocereal, cuyo contenido de proteína va de 11-20%, con dos veces el contenido de lisina como aminoácido esencial y de 5 a 20 veces el contenido de calcio y hierro. Es importante recalcar la participación de la lisina en el amaranto ya que este aminoácido esencial no suele encontrarse (o en poca cantidad) en la mayoría de los cereales, y el amaranto contiene niveles de lisina superiores a los de todos los cereales. Sumado a esto, el amaranto no contiene gluten, por lo que es una buena opción para las personas que sufren de intolerancia al gluten y la enfermedad celíaca.

Iza y Patín, 2018 y Hejazi *et al.*, 2015 concuerdan en que las proteínas que contiene son de buena calidad, con alto contenido de arginina e histidina, aminoácidos esenciales para los niños, haciendo del amaranto un alimento muy valioso para la nutrición infantil. Un estudio realizado en San Luis Potosí en 2006 por parte de la Sociedad de Productores Rurales “San Miguel de Proyectos Agropecuarios” reflejó que el amaranto como complemento en la dieta de los individuos, particularmente en niños, tiene efectos positivos a todos los niveles de desnutrición, aun cuando el nivel de mejoría dependa del grado e intensidad de la misma. Velástegui-Espín *et al.*, 2018

menciona que la semilla de amaranto tiene un alto contenido de triptófano, aminoácido esencial, que ayuda a sintetizar la serotonina, además de contener otros aminoácidos esenciales, tales como isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina y valina. El amaranto aporta con cantidades importantes de lisina a la dieta, la lisina es el aminoácido esencial limitante en cereales como el maíz, trigo y arroz, conteniendo el doble de lisina respecto al trigo y el triple respecto al maíz y tanto como la leche, que es considerada como el estándar en cuanto a proteína en los alimentos (Castro Castro, D., 2024).

En cuanto a su contenido de grasas, contiene entre un 5% y 8% de grasas saludables, destacando la presencia de Escualeno, un tipo de grasa que se solía obtener de tiburones y ballenas, y que es un potente antioxidante y fortalecedor del sistema inmune. El aceite de amaranto es de buena calidad y el contenido es superior al de maíz. Este grano, es rico en grasas mono y poliinsaturadas, como el ácido linoleico (Omega-3) (Castro Castro, D., 2024). Su cantidad de almidón va entre el 50 y 60% de su peso. El almidón del amaranto posee dos características distintivas que lo hacen muy prometedor en la industria: tiene propiedades aglutinantes inusuales y el tamaño de la molécula es muy pequeño (aproximadamente un décimo del tamaño del almidón del maíz). Estas características se pueden aprovechar para espesar o pulverizar ciertos alimentos o para imitar la consistencia de la grasa. A continuación, en la Tabla 1 podemos observar la composición química de la semilla de amaranto (por 100 g de parte comestible y en base seca).

Tabla 1. Composición química de la semilla de amaranto

Característica	CONTENIDO
Proteína (g)	12-19
Carbohidratos (g)	71.8
Lípidos (g)	6.1-8.1
Fibra (g)	3.5-5.0
Cenizas (g)	3.0-3.3
Calcio (mg)	130-164
Fósforo (mg)	530
Potasio (mg)	800
Vitamina C (mg)	1.5

Fuente: (Chagaray, 2005)

El amaranto posee un alto potencial agroalimentario ya que su semilla, planta y hojas poseen valores nutricionales que sobrepasan a algunos cereales de uso común, por lo que para consumo humano y animal está ampliamente recomendado. En un análisis comparativo hecho por Salvador, 2016 con los cereales más comunes de la dieta mexicana (maíz, trigo, arroz), se llegó a la conclusión que los contenidos nutricionales del amaranto son superiores para todos los rubros analizados, lo que daría como resultado productos con base de amaranto de alto valor fortificante, así como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Valor nutricional de la semilla de amaranto en comparación con otros cereales

	AMARANTO	MAÍZ	ARROZ	TRIGO
Proteína (g)	18.0	11.0	8.0	15.0
Hierro (g)	0.009	0.001	0.003	0.0045
Calcio (g)	0.2	0.02	0.025	0.05
Fibra (g)	15.0	7.2	4.0	12.0
Grasas (g)	9.0	4.9	2.0	2.0

Fuente: Salvador, 2016

De acuerdo con Salvador, 2016, el amaranto tiene efectos antioxidantes y puede contribuir en el tratamiento de enfermedades crónico degenerativas como: osteoporosis, hipertensión arterial, tratamiento del estreñimiento, insuficiencia renal y hepática, y enfermedad celíaca por la alergia al gluten e incluso la nivelación de la glucosa, por lo que es recomendado para personas con diabetes mellitus. Los granos de amaranto tienen actividad antioxidante, la cual ha sido atribuida a su contenido de polifenoles, antocianinas, flavonoides y tocoferoles. Los antioxidantes pueden desempeñar un papel importante en la inhibición de radicales libres y reacciones en cadena oxidativas dentro de tejidos y membranas. Así mismo, el amaranto es libre de gluten por que se ha presentado últimamente como una alternativa saludable para dietas a base de gluten-free.

7.5 Estructura del grano

La estructura es similar en todos los granos. Cada grano está compuesto de tres partes: el germen, endospermo y el salvado. El germen o embrión, se localiza en el centro o núcleo de la semilla, compone aproximadamente el 2.5% del total del grano y es donde la germinación comienza cuando la planta comienza a crecer. El endospermo, representa el porcentaje más grande del grano y es almidón en su mayor parte, retenido como parte de una matriz de proteínas, también se conoce como la estructura harinosa del grano y se encarga de envolver al embrión y proporcionar los nutrimentos necesarios para el desarrollo. Por último, el salvado, representa el 14.5% de la semilla y es la capa exterior del grano que a su vez está formada por varias capas, una capa exterior de

pericarpio que ofrece protección a la semilla, y una capa interior que incluye la cubierta de la semilla. El salvado a menudo se elimina por abrasión o pulido en el proceso de molienda y puede usarse en muchos alimentos o alimentación animal (Vaclavik y Christian, 2008).

Las harinas de amaranto pueden presentar diferente composición en función del grado de extracción, debido a la mayor concentración de nutrientes en el pericarpio y en el germen comparado con el grano entero. El grano entero está compuesto por 18.5% de proteínas, 7.4% de lípidos, 3.3% de fibras y 3.2% de cenizas, en cuanto al pericarpio y/o germen contiene 42% de proteínas, 19.2% de lípidos, 7.7% de fibras y 7% de cenizas. El perispermo tiene básicamente almidón en forma de amilopectina con el 7.7% de proteínas, 2.3% de lípidos, 0.9% de fibras y 1.2% de cenizas (Figura 1) (Castel, 2010).

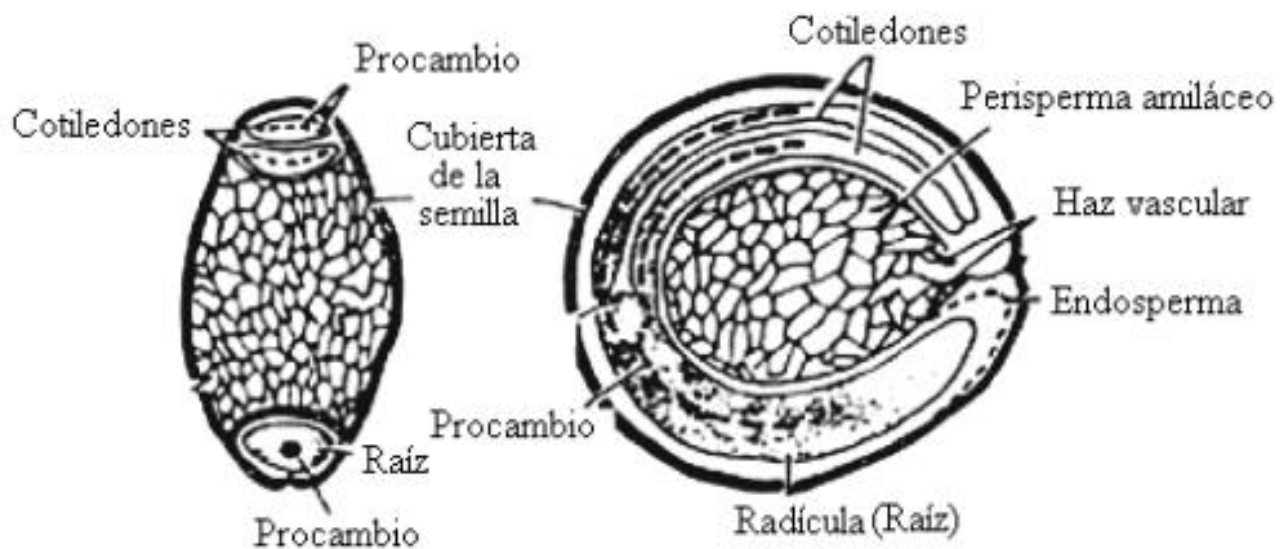


Figura 1. Estructura del grano de amaranto

Fuente: (Castel, 2010)

7.6 Germinación

Durante los procesos industriales de refinamiento de alimentos se pierden y/o reducen sustancias, muchas veces esenciales que el cuerpo necesita para su correcto metabolismo. La germinación representa la técnica más efectiva para aportar a nuestro cuerpo energía vital concentrada (Guerrero, 2018). La germinación es el proceso metabólico mediante el cual la semilla y/o grano pasa de un estado de latencia a un estado de actividad metabólica y donde una semilla se desarrolla hasta convertirse en una planta. Este proceso consta de cuatro etapas, la primera es la imbibición que es el proceso de absorción de agua por la semilla, consta de tres fases: incremento rápido en la absorción de agua, fase de estabilización (activación de metabolismo y movilización de nutrientes) y absorción de agua, elongación del embrión y ruptura de testa. En la segunda etapa, llamada respiración y luz, inicia la actividad metabólica y la respiración pasa de ser anaerobia a aerobia. Movilización de reservas, en esta etapa, existe una movilización de reservas desde el endospermo al embrión, la capa aleurona produce enzimas (amilasas y proteasas) y las reservas de nutrientes principalmente almidón y cuerpos proteicos son convertidos en compuestos básicos como azúcares simples y aminoácidos que son transportados y oxidados para suplir el crecimiento y elongación del embrión. Por último, el desarrollo de la plántula, las células crecen en tamaño y comienzan las divisiones para formar la plántula (Suárez y Melgarejo, 2023).

La duración de cada una de estas fases depende de ciertas propiedades de las semillas, como su contenido en compuestos hidratables y la permeabilidad de las cubiertas al agua y al oxígeno. Estas fases también están afectadas por las condiciones del medio, como el nivel de humedad, las características y composición del sustrato, la temperatura, etc. Otro aspecto interesante es la relación de estas fases con el metabolismo de la semilla. La primera fase se produce tanto en semillas vivas y muertas y, por tanto, es independiente de la actividad metabólica de la semilla. Sin embargo, en las semillas viables, su metabolismo se activa por la hidratación. La segunda fase constituye un período de metabolismo activo previo a la germinación en las semillas viables o de inicio en las semillas muertas. La tercera fase se produce sólo en las semillas que germinan y obviamente se asocia a una fuerte actividad metabólica que comprende el inicio del crecimiento de la plántula y la movilización de las reservas. Por tanto, los factores externos que activan el metabolismo, como la temperatura, tienen un efecto estimulante en la última fase.

A nivel de laboratorio, la germinación de semillas se realiza bajo condiciones controladas, comienza con la hidratación de sus tejidos, luego se coloca en condiciones adecuadas de temperatura, humedad relativa y oxigenación por el tiempo que sea necesario para cada semilla, aunque el tiempo varío incluso entre las variedades de semillas de una misma especie. Las plantas de *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus cruentus*, no toleran bajas temperaturas, su crecimiento cesa a los 8°C y las plantas se dañan cuando se alcanza una temperatura de 4°C. La planta de amaranto crece a nivel del mar hasta los 2800 msnm; sin embargo, las especies que mejor rendimiento presentan a altitudes superiores a los 1000 m son *A. caudatus* y *A. quitensis*. En general todas las especies de amaranto crecen mejor cuando la temperatura promedio no es inferior a 15°C, temperaturas de 18°C a 24°C parecen ser las óptimas para el cultivo. A nivel experimental, se recomienda su germinación entorno a los 35°C (Nieto,1989). (Castro Castro, D., 2024).

Numerosas técnicas de procesamiento tradicionales se pueden emplear para aumentar la biodisponibilidad de varios micronutrientes en cereales como el amaranto. Thakur *et al.* en 2021, menciona el remojo y la germinación como las técnicas más utilizadas y pueden ser tratadas como las técnicas más simples y rentables para mejorar la calidad nutricional y reducir los componentes anti nutricionales de los alimentos. Mientras que Iza y Patín, 2018 puntualiza que, durante la germinación, el contenido de proteína cruda puede aumentar debido a la absorción de nitratos, lo que facilita el metabolismo de compuestos nitrogenados de las reservas de hidratos de carbono. Además, la germinación mejora la calidad de las proteínas debido a un aumento en la actividad proteolítica del grano. Esta mejora conduce a la hidrólisis de las proteínas de almacenamiento principalmente prolamina en albúminas y globulinas y en consecuencia la conversión de los ácidos glutámico y aminoácidos prolina en los aminoácidos limitantes tales como lisina. La germinación del amaranto incrementa la disponibilidad de las proteínas, así como los componentes de aminoácidos libres y se ha reportado un incremento del 30% en el contenido de lisina de amaranto después de solo 24 horas de germinación. Además, también se reportaron incrementos del 41% y 22% en la proteína cruda y la proteína verdadera de amaranto respectivamente, después del remojo por 10 minutos y germinación por 72 horas a 35°C (Hejazi *et al.*, 2015).

El método de germinación tiene una importante repercusión en las propiedades finales del germinado, Hejazi *et al.*, 2015, menciona un incremento en la cantidad de proteína con un remojo

de 10 minutos y germinación por 72 horas a 35°C, mientras que se observó una disminución de la cantidad de proteína cuando fueron remojados por 5 horas en agua destilada y germinados a 32°C por 48 horas. Cornejo *et al.*, en 2019, a su vez recomienda que una germinación corta de 24 horas bajo oscuridad puede ser eficiente para producir cambios significativos en las propiedades fisicoquímicas y nutricionales del amaranto, revelando un tratamiento eficiente físicamente para mejorar las propiedades del amaranto, mientras que otros investigadores han descrito que una germinación de 24 horas puede aumentar con éxito las propiedades nutricionales y reducir los factores anti nutricionales de los cereales.

Los germinados, son alimentos de fácil contaminación que permiten una fácil proliferación de mohos y bacterias durante la fase de germinación, por lo que es fundamental contar con un buen proceso previo de desinfección, además de mantener todas las necesarias de seguridad e higiene en campo y de almacenamiento para obtener un alimento apto para el consumo humano (Castro Castro, D., 2024), Cornejo *et al.*, 2019 recomienda, esterilizar las semillas con hipoclorito de sodio por 30 minutos y remojarla después por 7 horas, mientras que Perales *et al.*, 2014 usó un remojo de 200 g de semillas en remojo de 1 L de hipoclorito de sodio al 0.1% durante 10 minutos, realizando posteriormente enjuagues con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro. Guardianelli *et al.*, 2019 mantuvo un remojo de 50 g de semilla de amaranto en 1 L de solución de clorhidrato de sodio al 20% por 20 minutos y lavados con agua destilada varias veces. Cornejo *et al.*, 2019 sanitiza con hipoclorito de sodio por 30 minutos.

Hejazi *et al.*, 2015, recomienda el método de inmersión, sumergiendo en agua una proporción de (1:5 p/v) durante 24 horas a temperatura ambiente, para después escurrir el agua y empapar las semillas, realizando el método en frascos de cuarzo. Mientras que otros artículos como Natarén, 2010 y Sola *et al.*, 2000, reportan excelentes resultados germinando semillas de amaranto en cajas de Petri.

Por otro lado, Thakur *et al.*, 2021 remarca que números estudios han descrito el remojo por 12-18 horas como el tratamiento más efectivo para reducir los niveles de componentes anti-nutricionales como inhibidores de la enzima proteolítica, así como ácido fítico, que son solubilizados totalmente o parcialmente en el agua de remojo. En cuanto al almacenamiento durante la germinación, algunos artículos como Sandoval *et al.*, 2020 realizaron la germinación en presencia

de luz y oscuridad por un total de 78 horas a 30°C y 80% de humedad relativa y Perales *et al.*, 2014 germinó en 50% del tiempo en periodos de luz y oscuridad por 78 h a 30°C, con remojos de 6 horas. Por el contrario, Cornejo *et al.*, 2019, realizó la germinación en oscuridad por solo 24 horas como se mencionó anteriormente a 32°C y 100% de humedad relativa, así como Dolores-Jiménez *et al.*, 2019, que germinaron en oscuridad a 22-24°C y 80-90% de humedad relativa por 48 h hasta que las semillas alcanzaron la misma longitud de radical (1.0-1.5 cm).

7.7 Factores que afectan a la germinación

- Tiempo de remojo: Salvador-Figueroa *et al.*, 2005, señala que el objetivo del remojo es que la semillas se embeban de agua, se ablande la endotesta, se rompa la latencia de las semillas e inicie el proceso de germinación. Así mismo, menciona que otros estudios encontraron que el remojo en agua incrementa la velocidad y porcentaje de germinación de las semillas.
- Ambiente (osmoralidad): La exposición de las semillas a concentraciones altas de cloruro de sodio (NaCl) u otros agentes osmóticos, pueden bloquear su habilidad germinativa al inducir cambios en actividades metabólicas asociadas a diferentes fases del proceso de germinación (Sola *et al.*, 2000).
- Humedad. La absorción de agua es el primer paso, y el más importante, que tiene lugar durante la germinación; porque para que la semilla recupere su metabolismo es necesaria la rehidratación de sus tejidos. Aunque es necesaria el agua para la rehidratación de las semillas, un exceso de la misma actuaría desfavorablemente para la germinación, pues dificultaría la llegada de oxígeno al embrión (Guerrero, 2018).
- Tiempo. Varios investigadores han descrito que 24–48 h de germinación pueden incrementar con éxito las propiedades nutricionales y reducir los factores anti nutricionales de los granos.
- Temperatura. Es un factor decisivo en el proceso de la germinación, ya que influye sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla después de la rehidratación. La actividad de cada enzima tiene lugar entre un máximo y un mínimo de temperatura, existiendo un óptimo intermedio. Del mismo modo, en el proceso de germinación pueden establecerse unos límites similares. Por ello, las semillas sólo germinan dentro de un cierto margen de temperatura. Si la temperatura es muy alta o muy baja, la germinación no tiene lugar, aunque las demás condiciones sean favorables. La temperatura mínima sería aquella por debajo de la cual la germinación no se produce, y la máxima aquella por encima de la cual se anula igualmente el proceso. La temperatura óptima, intermedia

entre ambas, puede definirse como la más adecuada para conseguir el mayor porcentaje de germinación en el menor tiempo posible (Guerrero, 2018).

- Ciclos de luz-oscuridad. La alternancia de las temperaturas entre el día-noche actúan positivamente sobre las etapas de la germinación.
- Gases. La mayor parte de las semillas requieren para su germinación un medio suficientemente aireado que permita una adecuada disponibilidad de O₂ y CO₂. De esta forma el embrión obtiene la energía imprescindible para mantener sus actividades metabólicas. La mayoría de las semillas germinan bien en atmósfera normal con 21% de O₂ y un 0.03% de CO₂. Para que la germinación tenga éxito, el O₂ disuelto en el agua de imbibición debe poder llegar hasta el embrión. A veces, algunos elementos presentes en la cubierta seminal como compuestos fenólicos, capas de mucílago, macroesclereidas, etc. Pueden obstaculizar la germinación de la semilla por que reducen la difusión del O₂ desde el exterior hacia el embrión. Además, hay que tener en cuenta que, la cantidad de O₂ que llega al embrión disminuye a medida que aumenta disponibilidad de agua en la semilla (Guerrero, 2018).

7.8 Aplicaciones del amaranto germinado

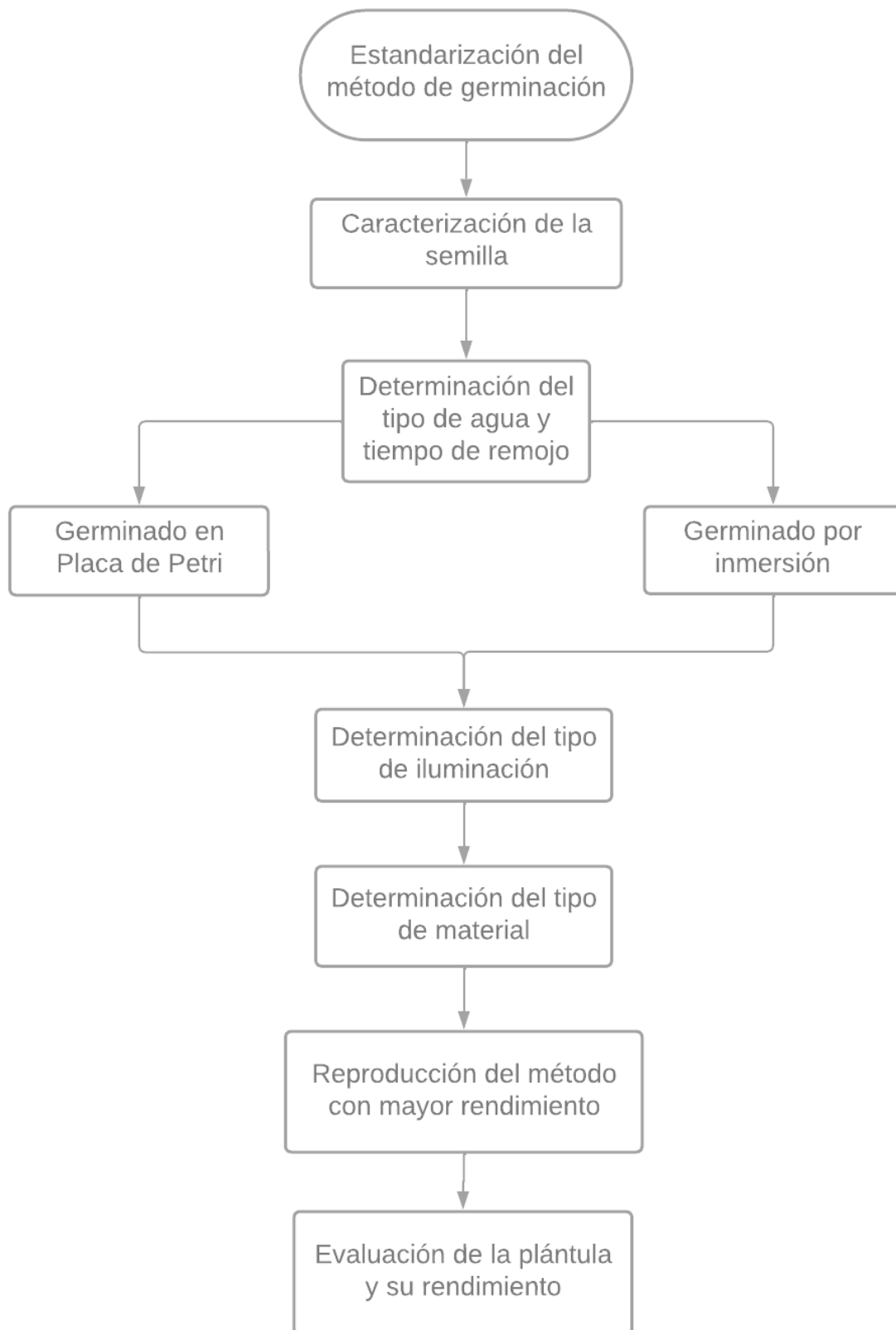
El amaranto germinado puede tener múltiples aplicaciones alimenticias, desde el desarrollo de un alimento funcional, por sus beneficios aumentados en comparación con su consumo sin germinar hasta su consumo en forma de harina para elaborar otro tipo de alimentos, o aplicaciones más sencillas como consumirlo como germen para ser incluido en ensaladas y sopas. Algunas investigaciones han destacado el uso del germinado de amaranto para hacer harina y de ahí obtener otros productos como pastas, barritas energéticas, entre otros. Cornejo *et al.*, 2019, recalca que las propiedades nutricionales de la harina de amaranto se incrementan cuando los granos se someten a germinación, debido a las grandes cambios bioquímicos, nutricionales y sensoriales que toman lugar durante este proceso, mientras que Chauhan *et al.* en 2015 encontró que la harina obtenida de amaranto germinado en comparación con la obtenida con amaranto puro muestra un aumento significativo en el contenido de proteína y fibra cruda, al usarse la harina de amaranto germinado en combinación con otras harinas, como la de trigo para panificación, mejora el perfil nutricional, puesto que disminuye el índice glucémico y mejora la concentración de lisina y de ácidos grasos insaturados esenciales (ácidos linoleico y linolénico), además de mantener una calidad tecnológica aceptable. Así mismo, se han estudiado los efectos de la sustitución total de harina de trigo por harina de

amaranto germinado para elaborar galletas sin gluten y se observó una disminución en el contenido de grasa y carbohidratos, además aumentó la proteína, fibra dietética total y actividad antioxidante; a la vez que mejoraron las propiedades funcionales y estas galletas tuvieron mejor aceptabilidad y características nutricionales, respecto a las elaboradas con harina de amaranto sin germinar; de igual manera, se encontraron resultados favorables en su uso para la elaboración de pan sin gluten con una mayor aceptabilidad, mayor volumen y una miga más suave (Castro Castro, D., 2024).

El amaranto germinado se ha usado en la industria pesquera para la elaboración de geles de filetes de tilapia picados (reestructurados), en estos productos se ha observado que no hay variación en sus características físicas, mientras que su contenido de fibra dietética aumenta significativamente, por lo que el germinado de amaranto podría ser usado como ingrediente funcional para el desarrollo de productos pesqueros ricos en compuestos bioactivos (Castro Castro, D., 2024).

Sandoval-Sicarios *et al.* en 2021 afirma que la germinación es una forma eficiente de procesar el amaranto que mejora la bioactividad y biodisponibilidad de compuestos fitoquímicos, además de desarrollar péptidos bioactivos, conduciendo al desarrollo de alimentos funcionales con propiedades nutricionales que contribuyen a la salud del consumidor, usándose en la elaboración de alimentos tipo snack como barras nutritivas altas en proteínas y con buena aceptabilidad. También se ha utilizado la harina de amaranto germinado para la elaboración de pastel sin huevo ni gluten, a través de una combinación de harina germinada de soja y amaranto destinado para personas con enfermedades celíacas, dando como resultado un producto con alta composición nutricional y mayor contenido de minerales debido a los ingredientes germinados utilizados, a la vez que presenta una buena aceptabilidad sensorial (Castro Castro, D., 2024).

8. Diagrama de flujo



9. Metodología

9.1 Caracterización de la semilla

9.1.1 Método del cuarteo

Se cuenta con siete bolsas de semillas de *Amaranthus hypochondriacus* marca “quali”, con un contenido neto de 250 g por bolsa, según el método del cuarteo, se eligen dos bolsas al azar, para después mezclarlas y distribuir las en una charola de aluminio, se dividen en 4 partes y se quitan dos partes contrarias de la misma, repitiendo el proceso anterior una vez más y obtenido así, una mezcla representativa.

Se pesan 50 g de la muestra representativa con una balanza digital marca Liberty con una sensibilidad de 20 mg a 500 g, modelo JT5003A y se determina el porcentaje de impurezas total e individual como insectos, basura, granos diferentes, granos quemados, manchas, deformidades, entre otros según el método descrito en (De la Rosa, 2023).

9.1.2 Mil granos

Se cuentan 50 semillas de amaranto y se pesan, posteriormente se hace la relación por medio de una regla de tres para obtener el peso equivalente a 1000 granos. Este procedimiento se realiza por triplicado y se calcula el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación en porcentaje de los resultados obtenidos.

9.1.3 Peso hectolitrico

De acuerdo con el método descrito por (De la Rosa, 2023) con algunas variaciones, se pesan tres probetas de 50 mL y se cubre un total de 25 mL con semillas limpias, de la muestra representativa, dentro de la probeta, dejándolas caer desde una distancia de 10 cm de altura aproximadamente para el acomodo de las mismas. Se pesa la probeta con semillas después de realizar doce golpes espaciados entre cuatro y se repite el mismo procedimiento con las mismas semillas hasta obtener tres repeticiones. Este procedimiento se realiza por triplicado con las tres

probetas y se calcula el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación en porcentaje de los resultados obtenidos.

9.1.4 Índice de flotación

Siguiendo el método descrito por (De la Rosa, 2023) con algunas variaciones, se colocan en tres vasos de precipitados el peso equivalente a mil granos, obtenido de la prueba de mil granos, y se adiciona agua destilada Meyer, hasta cubrir el recipiente, de manera que sean visibles los granos que flotan. Se agita suavemente por 30 segundos, dejando reposar por 1 hora, posteriormente, se separan las semillas flotantes, dejándolas secar con papel absorbente durante 24 horas para poder pasarlas a un nuevo papel seco y dejarlas bajo el sol por una hora, posteriormente se pesan.

9.3 Determinación del tipo de agua y el tiempo de remojo

Las semillas son sanitizadas en una solución de hipoclorito de sodio por 10 minutos y enjuagadas tres veces con agua purificada. Evaluando el método de germinado por inmersión y germinado en placa de Petri bajo diferentes tiempos de remojo y usando tres diferentes tipos de agua de acuerdo a lo leído en diferentes investigaciones. El método de germinado en placa se lleva a cabo según el procedimiento usado por Natarén, 2010 y Sola *et al.*, 2000. Evaluando ambos métodos por tres días.

9.4 Determinación del tipo de iluminación y material

Ambos métodos se evalúan por triplicado en condiciones de luz/oscuridad y oscuridad total, usando vidrio como recipiente y plástico para evaluar si existen un cambio en la germinación al cambiar el tipo de material.

9.5 Reproducción del método con mayor rendimiento

En base a los resultados obtenidos en el punto 9.4 y 9.3, se designa el método con mejores resultados para posteriormente ser reproducido 5 veces y ser observado por un periodo de tres días,

añadiendo el tiempo de remojo, tipo de agua de remojo y condiciones de iluminación, determinadas en los puntos anteriores.

9.6 Evaluación de la plántula y su rendimiento

El muestreo se realiza diariamente, midiendo el tamaño de la raíz y la plántula con un vernier, realizando la medición desde la base hasta la punta de la plántula. Para la determinación del rendimiento se calcula el porcentaje y tiempo de germinación en cada método aplicado, en base a lo descrito por Rodríguez *et al.*, 2008.

10 Resultados

10.1 Caracterización de la semilla

En la transformación y procesamientos de alimentos, un factor muy importante es la materia prima que se utiliza, la cual debe pasar por estrictos estándares de calidad que aseguren que el producto final cumpla con las características esperadas, en el caso de los granos, se realizan diferentes pruebas como la determinación de impurezas, peso hectolitro, índice de flotabilidad entre otras, para definir si la marca o el proveedor que se está utilizando cumple con los características y no va a afectar al producto final, éstas pruebas también van a depender de lo que se quiere hacer con el grano. La calidad de una semilla está dada por su capacidad para germinar y desarrollar una plántula normal aún bajo condiciones ambientales no ideales.

Se eligió la bolsa dos y cinco como se muestra en la figura 2. El peso de cada una de las bolsas fue de 254.339 g (figura 3) para la primera bolsa y de 250.859 g para la segunda.



Figura 2 Bolsa de semillas de *Amaranthus hypochondriacus*

El porcentaje total de impurezas en la muestra representativa elegida equivale al 8% (Tabla 3). De acuerdo con la NOM-247-SSA1-2008 Cereales y sus productos, el grano de amaranto reventado no debe presentar más de 50 fragmentos de insecto, no más de un pelo de roedor y debe estar exento de excretas en 50 gramos de producto. Aunque la norma no incluye la tolerancia para el grano de amaranto sin reventar, podemos notar que el porcentaje de impurezas en la muestra representativa no sobrepasa, ni se acerca a este límite.

Tabla 3. *Impurezas obtenidas de la muestra representativa*

Peso inicial	50.594 g	100 %
Impurezas	Peso (g)	% de impurezas
Granos color ámbar	0.787	1.555
Granos grises	0.648	1.280
Granos beige	0.648	1.280
Piedras	0.545	1.077
Extraños	0.523	1.033
Granos color negro brillante	0.508	1.004
Insectos	0.480	0.948
Total	4.124	8.148

Los resultados de la prueba de mil granos por triplicado arrojaron que el peso equivalente a mil granos de amaranto es de 0.920 g (Tabla 4), el cual se encuentra dentro del rango de 0.5 – 1.0g obtenido por Gimplinger *et al.* (2008), Cataña Vasquez *et al.* (2020) y Eduardo, E.R. *et al.* (2021). El resultado se usó para realizar la prueba del peso hectolitro, el cual se define como el peso del grano contenido en una unidad de volumen, esta medida está directamente relacionada con las características de calidad del grano ya que un grano con alto contenido de impurezas o de daños es más liviano y tiene normalmente un peso por hectolitro menor, en la tabla 5 podemos notar que el peso hectolitro obtenido es de más de 87.0 kg/hL, similar al obtenido por Ortiz-Torres (2018) y Cataña Vasquez *et al.* (2020), así mismo la normativa NTE INEN 2646 menciona que el rango promedio del grano de amaranto debe ser ≥ 80 kg/hL para ser considerado de primer grado

(INEN,2012), mientras que para el peso de mil granos en base a esta norma, el resultado obtenido cataloga a la variedad utilizada como de grado 2, pues se obtuvo un valor mayor a 0.94 g (Cataña Vasquez et al., 2020).

Tabla 4. Mil granos

Peso de la charola		0.473 g		
# de pesado	Cálculo	Peso (g)	Peso de mil granos (g)	Peso final (g)
1	0.519 g - 0.473 g	0.046	0.920	0.919
2	0.519 g - 0.473 g	0.046	0.920	0.920
3	0.519 g - 0.473 g	0.046	0.920	0.921
Promedio (g)		0.046	0.920	0.920
Desviación estándar (g)		8.498×10^{-18}	0	0.001

Tabla 5. Peso hectolitro

Repetición	Probeta 1		Probeta 2		Probeta 3	
	Peso de semillas (g)	Peso hectolítrico (kg/hL)	Peso de semillas (g)	Peso hectolítrico (kg/hL)	Peso de semillas (g)	Peso hectolítrico (kg/hL)
1	21.973	87.892	22.033	88.132	22.610	90.44
2	21.868	87.472	22.101	88.404	22.547	90.188
3	21.707	86.828	22.299	89.196	22.348	89.392
Promedio (g)	21.849	87.3973	22.144	88.5773	22.502	90.0067
Desviación estándar (g)	0.134	0.53	0.138	5.528	0.137	5.470
Coefficiente de variación (%)	0.613	0.613	0.624	0.624	0.608	0.608

En cuanto al índice de flotación, que es una medida indirecta de la dureza del grano, mostró (Tabla 6) un valor menor al 10% en la prueba, lo que clasificaría a la semilla usada como un grano

duro de acuerdo con García et al. (2016), sin embargo, el coeficiente de variación de los resultados fue del 22.3%, el cual es alto y podría deberse al método empleado, por lo que se sugiere intentar con un método alternativo como el reportado por (Núñez, 2018) donde se usa nitrato de sodio y azúcar refinada.

Tabla 6. Índice de Flotación

Datos	Vaso 1	Vaso 2	Vaso 3	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación
Número de semillas flotantes	42	28	44	38	8.718	22.942
Peso seco (g)	0.039	0.026	0.040	0.035	0.008	22.315

10.2 Determinación de las condiciones de germinación

Las semillas de amaranto usadas en todos los experimentos fueron previamente tratadas, sumergiéndolas en una solución de hipoclorito de sodio al 0.1%, por 10 minutos con tres agitaciones, una al inicio, otra a los cinco minutos y la última al final del tiempo indicado. Posteriormente se enjuagaron 3 veces con agua e-pura y se agitaron por 30 segundos para asegurar la eliminación de los restos de hipoclorito de sodio.

Los dos principales métodos de germinación usados en la bibliografía consultada fueron puestos a prueba para estandarizar el método de germinado del amaranto. Para la determinación del tipo de agua y tiempo de remojo, se usaron dos tiempos de remojo previo, 1h y 24 h, usando tres diferentes tipos de agua de remojo: agua tridestilada, agua oxigenada y agua purificada. Cada 24 horas, las muestras fueron remojadas en 10 mL de agua purificada, agitando por 30 segundos para posteriormente retirar el agua. Para el método de germinación por inmersión se usaron vasos de plástico con 10 semillas de amaranto en cada uno (Figura 2), etiquetándolos, por duplicado, en orden alfabético de acuerdo con la tabla 7. Mientras que, para la germinación en placa de Petri de plástico, se colocó un total de 20 semillas en cada caja, por duplicado y humedeciendo el algodón

cada 24 horas con ayuda de un atomizador, las muestras fueron etiquetadas del mismo modo que en el germinado por inmersión (Figura 3).

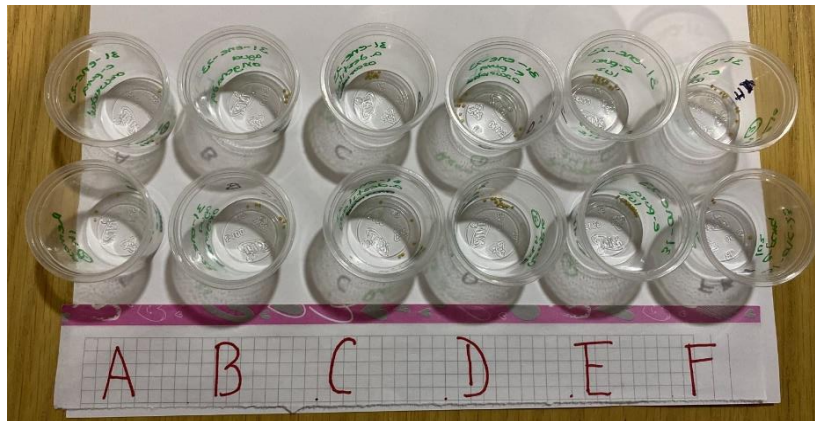


Figura 3. Prueba de germinación en vasos de plástico, usando diferentes tipos de agua de remojo



Figura 4. Prueba de germinación en placas Petri de plástico, usando diferentes tipos de agua de remojo

Tabla 7. Condiciones usadas en germinación

Letra	# de muestras	Tiempo de remojo*	Almacenamiento	Tipo de agua usada
A	A1, A2	1h	Oscuridad	Agua purificada
B	B1, B2	1h	Oscuridad	Agua oxigenada
C	C1, C2	1h	Oscuridad	Agua destilada
D	D1, D2	24h	Oscuridad	Agua purificada
E	E1, E2	24h	Luz/ oscuridad	Agua purificada
F	F1, F2	24h	Luz/ oscuridad	Agua purificada

Los resultados recopilados (Tabla 8) arrojaron que, en ambos métodos de germinación, el remojo por 24 horas con agua purificada dio mejores resultados. Para el caso de remojo de 1 h, el agua tridestilada si favoreció la germinación, aunque en menor proporción que el agua purificada.

Comparando ambos métodos de germinación usados, el germinado en placa de Petri permitió una mayor germinación tanto de semillas como de crecimiento de la plántula (Figura 4), muy probablemente debido a que el algodón húmedo permitía un buen intercambio de humedad, favoreciendo el crecimiento, mientras que, en el primer método, al ser granos de pequeño tamaño no se lograba retener la suficiente humedad suficiente para iniciar la etapa de imbibición y por tanto, la germinación fue más lenta que en el segundo método, logrando un menor tamaño de plántula (Figura 5).



Figura 5. Germinación obtenida en placa de Petri (E1 y 2)



Figura 6. Tamaño de plántula máximo alcanzado en la germinación en vasos de plástico (E1)

Tabla 8. Semillas germinadas usando diferentes tipos de agua y tipo de remojo

Letra	Germinado por inmersión			Germinado en placa de Petri		
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 1	Dia 2	Dia 3
A	1→ 1 SG 2→ ---	1→ 1 SG 2→ ---	1→ 5 SG 2→ 3 SG	Semillas hinchadas	1→ 1 SG 2→ ---	1→ 1 SG** 2→ ---
B	1→ --- 2→ ---	1→ 1 SG 2→ 2 SG	1→ 3 SG 2→ 4 SG	Semillas hinchadas	1→ 1 SG 2→ 1 SG	1→ 1 SG 2→ 1 SG
C	1→ --- 2→ ---	1→ 1 SG 2→ ---	1→ 1 SG 2→ 1 SG	Semillas hinchadas	Semillas hinchadas	1→ 2 SG 2→ 1 SG
D	1 →--- 2→ ---	1 →--- 2→ 1 SG	1 → 3 SG 2→ 6 SG	---	1→ 2 SG 2→ 2 SG	1→ 2 SG 2→ 3 SG
E	1 →--- 2→ ---	1 → 3 SG 2→ 1 SG	1 → 6 SG** 2→ 1 SG	---	1→ 2 SG 2→ ---	1→ 5 SG** 2→ 4 SG**
F	1 →--- 2→ ---	1 → 2 SG 2→ ----	1 → 6 SG 2→ ----	---	---	1→ 4 SG 2→ 2 SG

SG: semillas germinadas; --- sin germinación; ** tamaño de la plántula mayor o igual a 5 mm

Para observar el impacto del tipo de iluminación, se evaluaron las mismas condiciones de almacenamiento usadas anteriormente, de una manera controlada. Los métodos se realizaron por triplicado, almacenando algunos dentro de un lugar en total oscuridad, mientras que el segundo lote, se expuso a periodos de tiempo bajo la luz solar. Para ambos métodos, se usaron materiales de vidrio para comparar el resultado versus los materiales de plástico usados en la prueba anterior, usando un total de 100 semillas en cada prueba, por lo que para el germinado por inmersión se usaron vasos de precipitados de 100 mL, humedeciendo previamente la gasa que se encontraba en la parte superior, para mantener la humedad en las semillas, además el vaso se almacenó inclinado boca abajo para mantener el contacto de las semillas con la gasa.

El germinado en placa de Petri se llevó a cabo con un algodón previamente humedecido que cubría a las semillas en su totalidad, se tuvo especial cuidado en que las semillas estuvieran juntas entre sí. El algodón fue humedecido con un atomizador para que se mantuviera húmedo.

Ambos métodos fueron observados por tres días (Figura 6), la tabla 9 muestra como el germinado por inmersión en oscuridad total favoreció exponencialmente el crecimiento de más de la mitad de las semillas (Figura 7), pues para el tercer día ya se había alcanzado un tamaño de plántula superior a los 8 mm de largo, además, se observó una coloración rojiza en la punta de la plántula, en ambos métodos.

El germinado en placa de Petri (Figura 8), a pesar de ser menor en cuanto al tamaño final de la plántula, fue más constante en comparación con el germinado por inmersión, pues el número de semillas germinadas, fue mayor, debido a que, al estar cubiertas por algodón húmedo, una mayor cantidad de semillas se mantenía húmeda, acelerando el proceso. Para el caso de ambos métodos expuestos a periodos de luz y oscuridad, la germinación no tuvo lugar y las semillas se secaron a pesar de que la gasa se humedecía constantemente lo que sugiere que las semillas de amaranto necesitan de oscuridad total para germinar.

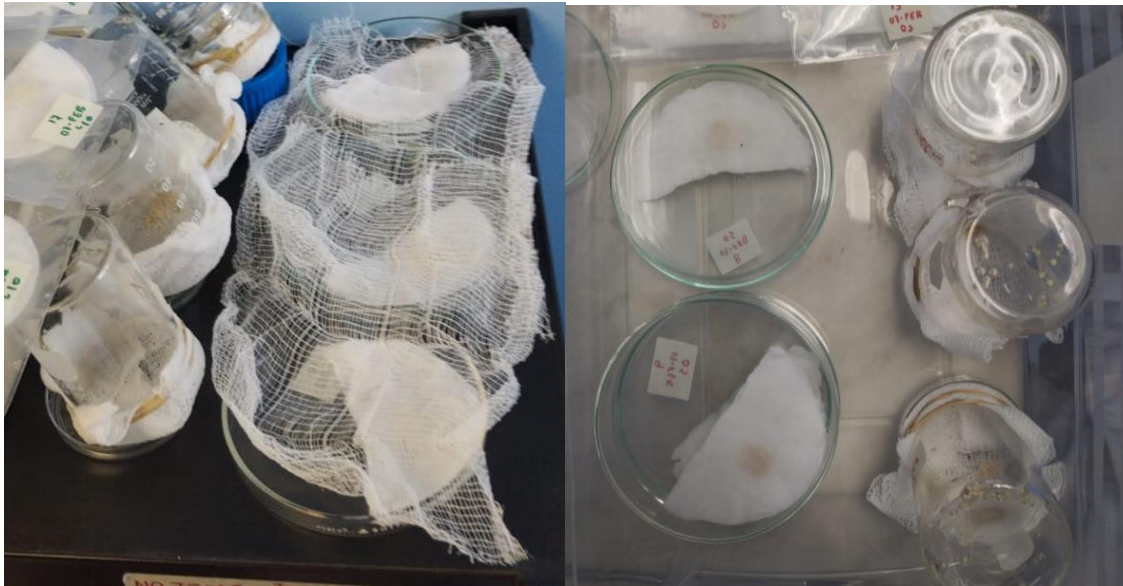


Figura 7. Germinación en materiales de vidrio bajo periodos de luz y luz/oscuridad

Tabla 9. Semillas germinadas y su tamaño bajo diferentes tipos de iluminación

	Germinado por inmersión			Germinado en placa de Petri		
	Oscuridad					
Día	Vaso 1	Vaso 2	Vaso 3	Placa 1	Placa 2	Placa 3
1	---	---	---	---	---	---
2	+97% 0.8 mm – 5 mm	50% 0.3 mm – 4 mm	50% 0.5 mm – 5 mm	---	+80% 2 mm – 8 mm	+80% 1.5 mm – 3 mm
3	100% +10mm	100% +10mm	100% +10mm	50% 3 mm	+80% 3 mm	+80% 3 mm
	Luz/oscuridad					
1	---	---	---	---	---	---
2	---	---	---	---	---	---
3	---	---	---	---	---	---

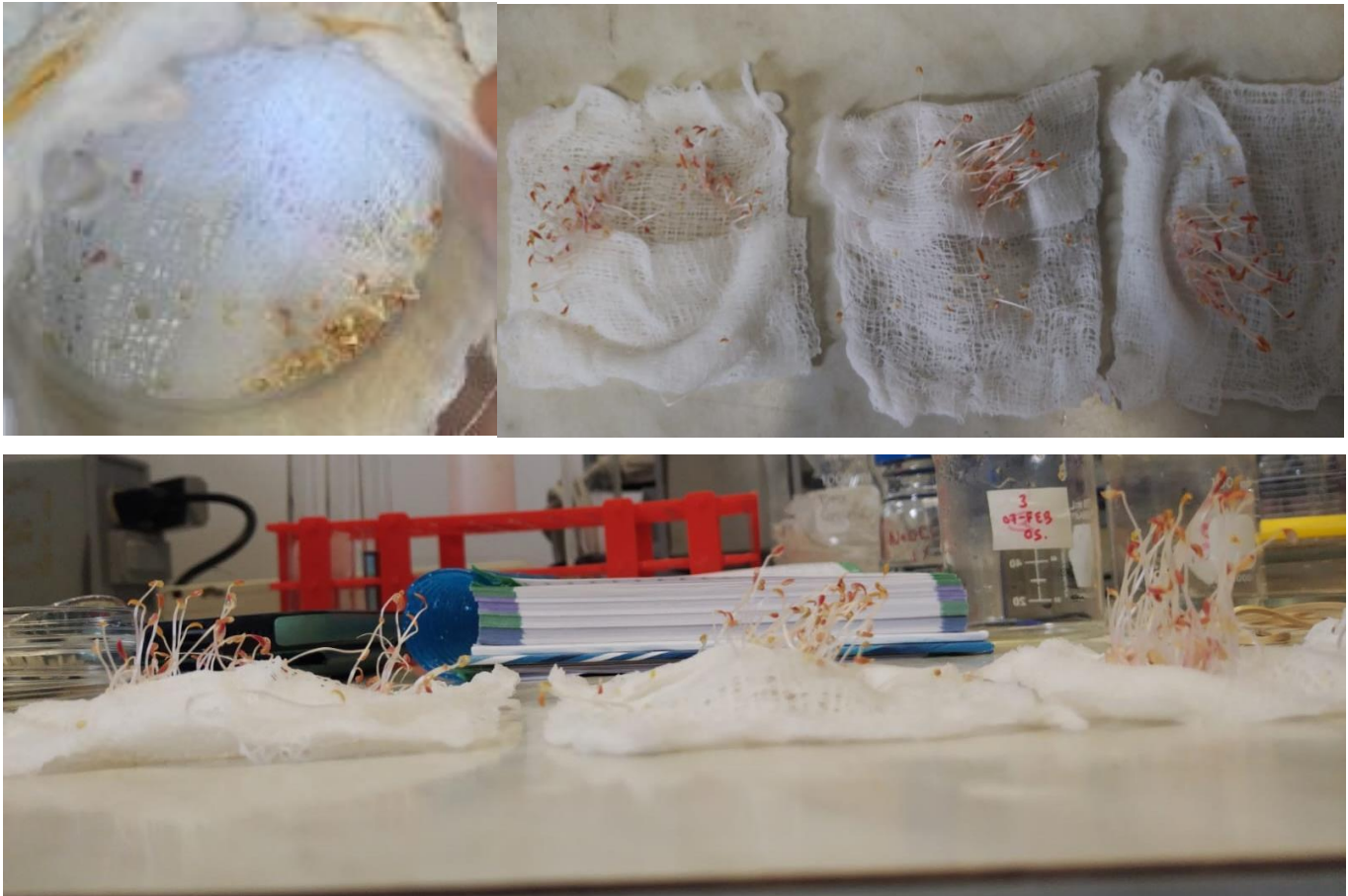


Figura 8. Resultados obtenidos en la germinación por inmersión en material de vidrio



Figura 9. Resultados obtenidos en la germinación en placa de Petri de vidrio

En base a los resultados obtenidos en los experimentos anteriores, se reprodujo el método de germinado por inmersión, usando 2g de semillas de amaranto previamente remojadas en 100 mL de solución de hipoclorito de sodio al 10% por un total de 10 minutos. Las semillas se filtraron y se enjuagaron tres veces con 100 mL de agua purificada por enjuague, agitando 30 segundos antes de

retirar el agua. Se aplicó un remojo de 24h en 100 mL de agua purificada y se repartieron en partes iguales en 5 frascos de vidrio de 175 mL. Los frascos se cubrieron con dos trozos de malla de plástico de 2 mm de apertura colocadas una sobre otra y fijadas con una liga para evitar que al poner el frasco inclinado en un ángulo de 45° boja abajo, las semillas se salieran. Los frascos se almacenaron en total oscuridad por tres días y cada día las semillas se remojabán en 35 mL de agua purificada, agitándolas por 1 minuto antes de retirar el agua (Figura 9).

La tabla 10 demuestra que desde el día 1, la germinación de las semillas fue bastante notorio, aunque el crecimiento no fue constante en los cinco frascos en este periodo, pero al final del experimento, se observó un crecimiento constante y exponencial en todos los frascos, logrando un crecimiento de más de 15 cm de altura en todas las semillas para el tercer día (Figura 10).

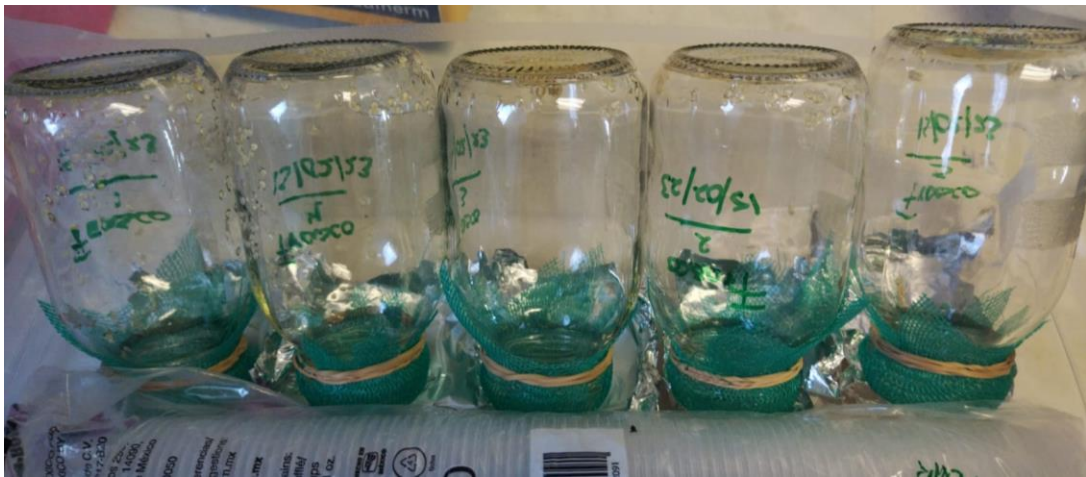


Figura 10. Germinación final de amaranto por el método de inmersión en vidrio

Tabla 10. Porcentaje de semillas germinadas y su tamaño promedio en el método de germinación por inmersión en vidrio

	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Frasco 4	Frasco 5
DÍA 1	30%	30%	20%	40%	5%
Tamaño promedio	0.4-1.6 mm	0.3-1.7 mm	0.8-1.6 mm	0.8-1.3 mm	1.3-1.9 mm
DÍA 2	80%	80%	80%	80%	70%
Tamaño promedio	2 cm	2 cm	2 cm	2 cm	2 cm
DÍA 3	80%	80%	80%	80%	80%
Tamaño promedio	15 cm	15 cm	15 cm	15 cm	15 m

Tabla 11. Resultados obtenidos en la germinación de amaranto por inmersión, en vidrio, durante tres días


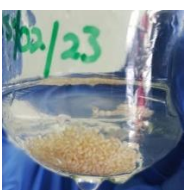
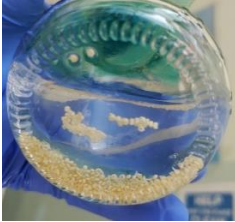
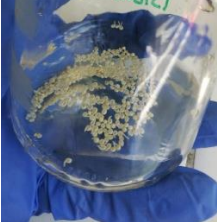
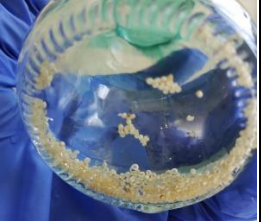



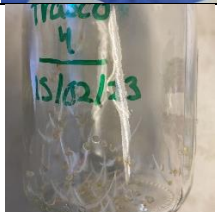
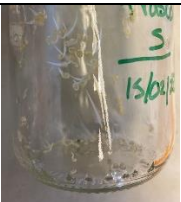





Día	Frasco 1	Frasco 2	Frasco 3	Frasco 4	Frasco 5
1					
2					
3					



Figura 11. Germinación de amaranto

11 Conclusiones

La germinación es un proceso con múltiples áreas de oportunidad en el que se logra una mejor biodisponibilidad de los nutrientes. El éxito de este proceso va depender de múltiples factores, comenzando por el tipo de semilla usada, en este caso, el tipo de semilla usada fue apropiado para la germinación de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*), la cual se vio mayormente favorecida en oscuridad total, usando materiales de vidrio pues en ambos métodos estudiados, el vidrio ofreció un mayor rendimiento y crecimiento en comparación con la germinación en materiales de plástico. Por otro lado, el número de semillas usadas también fue un factor determinante en el proceso, pues entre mayor fue el número de semillas, había un mayor rendimiento en el porcentaje de semillas germinadas.

En base a los resultados obtenidos, podemos refutar la hipótesis realizada previamente, ya que el método que mejor favoreció la germinación del amaranto fue el método de germinado por inmersión bajo oscuridad total. El rendimiento obtenido fue del 80% en solo dos días de germinación, logrando un crecimiento máximo de 15 cm de radícula para el tercer día, por lo que sería necesario hacer pruebas de análisis nutrimental para determinar en qué tamaño de radícula se logra un cambio significativo en las propiedades nutricionales del amaranto.

12 Referencias

- Castel, M. (2010) Estudio de las propiedades funcionales, tecnológicas y fisiológicas de las proteínas de amaranto [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Litoral]. Biblioteca virtual.
- Castro Castro, D. J. (2024). *Optimización de las condiciones de germinación de amaranto a través de modelos factoriales y métodos multicriterio* (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- Cataña Vásquez, S. V. (2020). Evaluación de características físicas de los granos de quinua (*Chenopodium quinua*) y amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) producidos en Ecuador con métodos tradicionales y alternativos (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2020).
- Chagaray, A. (2005) Estudio de factibilidad del cultivo de amaranto. Dirección Provincial de Programación del Desarrollo. Gobierno de la Provincia de Catamarca.
- Chauhan, A., Saxena, D. y Singh, S. (2015) Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus spp.*) flour. *Food Science and Technology*, 63, 939-945. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.115>
- Cornejo, F., Novillo, G., Villacrés, E. y Rosell, C. (2019) Evaluation of the physicochemical and nutritional changes in two amaranth species (*Amaranthus quitensis* and *Amaranthus caudatus*) after germination. *Food Research International*, 121, 933-939. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.022>
- De la Rosa, N., Gutiérrez, K., Hinojosa, M. y Madrazo, O. (2023) Manual de prácticas de productos de cereales y leguminosas. *Laboratorio de productos de cereales y leguminosas*.
- Eduardo, E. R., Hernández, L. F. S., Ramos, M. G. V., Molina, L. G., López, D. E., & Delgado, M. J. A. (2021). Tiene el amaranto el potencial agronómico para ser un fenómeno mundial como la quinua. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(8), 1459-1471.
- García Jiménez, A. y Vázquez L. (2016) Secado de Maíz propiedades del grano. Investigación y desarrollo en ciencia y tecnología de alimentos. Obtenido de: <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/1/14.pdf>
- Gimplinger, D. M., Dobos, G., & Kaul, H. P. (2008). Optimum crop densities for potential yield and harvestable yield of grain amaranth are conflicting. *European journal of agronomy*, 28(2), 119-125.

Guerreo, N. (2018) Valoración del incremento de proteína del amaranto alegría (*Amaranthus caudatus* L.) en el proceso de germinación [Proyecto de investigación]. *Springer*.

Hejazi, S., Orsat, V., Azadi, B. y Kubow, S. (2015) Improvement of the in vitro protein digestibility of amaranth grain through optimization of the malting process. *Journal of Cereal Science*, 68, 59-65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2015.11.007>

Iza, P., Moreno, C y Patín, C. (2018) Efecto de la temperatura en los parámetros reológicos de colada elaborada con base en maíz morado (*Zea mays*), enriquecida con quinua (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) germinados. *Academia Journals*, 10, 1.

Luis, G., Hernández, B., Caballero, V., López, N., Martínez, V. y Pacheco, L. (2018) Usos actuales y potenciales del Amaranto (*Amaranthus spp.*). *Journal of negative and no positive results*. <https://www.jonnpr.com/PDF/2410.pdf>

Luo, Y., Xie, W., Jin, X., Wang, Q. y He, Y. (2014) Effects of germination on iron, zinc, calcium, manganese, and copper from cereals and legumes. *Journal of Food*, 12, 1, 22-26. <http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2013.782071>

Martínez-Pérez, M., Díaz, M., Hernández, Y., Sarmiento, M., Sarduy, L. y Sierra, F. (2016) Harina de granos de *Mucuna pruriens*, germinados y sin germinar, para pollos de ceba: su efecto en indicadores fisiológicos. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 50, 3.

Natarén, A. (2010) Evaluación de calidad de vigor y germinación en genotipos de Amaranto (*Amaranthus spp.*) [Tesis de ingeniería, Universidad Autónoma Agraria].

Núñez, D. (2018) Adaptación de índice de flotación para la determinación de la calidad de reventado de amaranto por aire caliente y microondas. Colegio de postgraduados. Obtenido de: http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/3287/Nunez_Limon_D_MC_Innovacion_Agroalimentaria_Sustentable_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Preciado-Rangel, P., Gaucín-Delgado, J., Salas-Pérez, L., Chávez, E., Mendoza-Villarreal, R. y Ortiz, J. (2018) The effect of citric acid in the phenolic compounds, flavonoids and antioxidant capacity of wheat sprouts. *Revista de la Facultad de ciencias agrarias*.

Rodríguez, I., Adam, G. y Durán, J. (2008) Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas. *Tecnología*.

Salvador, L. (2016) Seguridad alimentaria, autosuficiente y disponibilidad del amaranto en México. *Revista Problemas del Desarrollo*, 186, 47.

Salvador-Figueroa, M., Adriano-Anaya, M. y Becerra-Ortíz, C. (2005) Efecto del remojo en agua sobre la germinación de semillas de papaya var. Maradol. *Revista Chapingo serie horticultura*, vol. 11, 1, 27-30. Universidad Autónoma de Chapingo.

Sandoval-Sicarios, E., Milán-Noris, A., Luna-Vital, D., Milán-Carrillo, J. y Montoya-Rodríguez, A. (2021) Anti-inflammatory and antioxidant effects of peptides released from germinated amaranth during in vitro simulated gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 343. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128394>

Solano, J., Romero, G. y Orozco, A. (2000) Efecto del estrés osmótico sobre la germinación de las semillas y el crecimiento de plántulas de trigo (*Triticum aestivum L.*) y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*). 153-166.

Suárez, D. y Melgarejo, L. (2023) Biología y germinación de semillas. Laboratorio de fisiología y bioquímica vegetal. *Departamento de biología*.

Thakur, P., Kumar, K., Ahmed, N., Chauhan, D., Rizvi, Q., Jan, S., Singh, T. y Dhaliwal, H. (2021) Effect of soaking and germination treatments on nutritional, anti-nutritional, and bioactive properties of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus L.*), quinoa (*Chenopodium quinoa L.*), and buckwheat (*Fagopyrum esculentum L.*). *Current Research in Food Science*, 4, 917-925. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.11.019>

Tovar-Hernández, C., Perafám-Gil, E., Enríquez-Collazos, M, Pismag-Portilla, Y y Gero-Fernandez, L. (2017) Evaluación del efecto del proceso de extrusión en harina de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) normal y germinada. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Vol 15, 2, 30-38.

Velástegui-Espín, G. P., Núñez-Torres, O. P., Pazmiño-Miranda, N. D. P., Villacrés-Villarreal, M. R., & Cruz-Tobar, S. E. (2018). Comparación de dos variedades de amaranto: blanco (*Amaranthus hypocondriacus L.*) y sangoracha (*Amaranthus quitensis L.*) utilizando azolla (*Azolla Filiculoides*) como sustrato en la propagación sexual. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 6(1), 11-21.

13 Cronograma

ACTIVIDAD	MAR 23 - SEP 23	OCTUBRE 23 - MAR 24	ABR 24 - JUL 24	AGO-SEPT 24	nov-24
Revisión bibliográfica	█				
Elaboración de plan de trabajo	█				
Caracterización de la semilla		█			
Determinación del tipo de agua y el tiempo de remojo		█			
Determinación del tipo de iluminación		█			
Determinación del tipo de material		█			
Evaluación de los resultados		█			
Reproducción y estandarización del método			█		
Evaluación de la plántula y su rendimiento			█		
Elaboración del protocolo de tesina	█	█	█	█	█
Registro del tema de tesina			█	█	█
Correcciones del protocolo y presentación de formatos			█	█	█
Presentación de tesina					█