



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

“Evaluación comparativa de la calidad fisiológica de la semilla
de amaranto y quinua en condiciones de laboratorio”

Tesis previa a la obtención del título de

INGENIERO AGRÓNOMO

AUTORA:

Daniela Marisol Minga Calva

DIRECTOR

Ing. Max Encalada Córdova PhD.

LOJA-ECUADOR

2022

CERTIFICACIÓN DE TESIS

Ing. Max Enrique Encalada Córdova PhD.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración de tesis de grado titulado: “Evaluación comparativa de la calidad fisiológica de la semilla de amaranto y quinua en condiciones de laboratorio”, de la egresada Daniela Marisol Minga Calva previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Loja, 11 de marzo de 2022



Ing. Max Enrique Encalada Córdova PhD.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, Daniela Marisol Minga Calva declaro ser el autor del presente TRABAJO DE TESIS y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja, a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.

Firma:  Firmado electrónicamente por:
**DANIELA
MARISOL MINGA
CALVA**

Cédula: 1105098865

Fecha: 17 de marzo 2022

Correo electrónico: daniela.minga@unl.edu.ec

Celular: 0939868040

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR(A) PARA LA CONSULTA DE PRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE TEXTO COMPLETO

Yo, Daniela Marisol Minga Calva, declaro ser la autora de la tesis titulada “Evaluación comparativa de la calidad fisiológica de la semilla de amaranto y quinua en condiciones de laboratorio”, como requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo, por lo que autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre a mundo la publicación intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Digital Institucional. Los usuarios pueden hacer uso de este trabajo investigativo en las redes de información del país (RID) y del exterior, con las que mantenga convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio de dicha tesis que realice una tercera persona. Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los catorce días del mes de marzo del dos mil veintidos, firma el autor:

FIRMA:



Autor: Daniela Marisol Minga Calva

Cédula: 1105098865

Dirección: Calle 12 de febrero y San Vicente, Palanda

Correo electrónico: daniela.minga@unl.edu.ec

Celular: 0939868040

Datos Complementarios

Director de Tesis: Ing. Max Enrique Encalada Córdova PhD.

Tribunal de Grado: PhD. Klever Granda (PRESIDENTE)

PhD. Eduardo Salazar (VOCAL)

PhD. María Natalia Morales(VOCAL)

DEDICATORIA

Hace algunos años jamás me imaginé que iba a llegar tan lejos, es un sueño hecho realidad, es por ello que esto se lo dedico a mi mamá Élida que desde el cielo me guió para poder culminar esta etapa de vida y aunque no pudo ver que su hija sería una ingeniera, estoy segura de que estará orgullosa de sus hijos, no pudiste decirme en persona palabras de aliento, pero en cada sueño te hacías presente cuidándonos, eres un gran ejemplo a seguir y mi mayor inspiración.

A ti abuelito que aun estando en cama supiste decirme “Ojalá esté vivo para verte graduada”, palabras que dejaron marcado mi corazón ya que a pocos meses de hacerse realidad el día de mi grado partiste al cielo, fuiste mi papá Manuel, quien nos solía contar cuentos mientras el calor del fogón nos acogía.

Abuelita Dolores quien con sus consejos supo hacer que yo escogiera el camino correcto, y a pesar de tus años aún me recuerdas cuando era una niña malcriada y me mandas a ver agua al pozo, te dedico a ti esta meta porque fuiste parte esencial en este proyecto de vida.

Esto es para ustedes y por ustedes.

Daniela M. Minga Calva

AGRADECIMIENTO

Durante todo el trayecto de mi vida estudiantil y personal existieron muchas personas que se hicieron presentes durante todo este ciclo de vida, personas que a pesar de no ser familia de sangre hicieron su aporte que para mí fue inmenso ya que existieron días en los que parecía que no iba a salir la luz.

Mi hermano, tíos, primos, abuelitos, amigos, su ayuda fue de gran valor no solo por lo económico sino por el significado que tuvo esa ayuda, ya que pude sentir que de alguna manera siempre estuvieron pendientes y preocupados por mí, mi gratitud hacia cada uno de ustedes porque fueron el impulso que se requería para salir adelante.

Papá gracias por tu ayuda, a pesar de todo también formaste parte activa en esta etapa y así pueda llegar a su término de la mejor manera.

En la Universidad hice grandes compañeros y amigos, cuyos lazos de amistad se hicieron más fuertes durante la etapa de clases virtuales, Bryan, Omar, Nancy, Grace, Edwin y Jefferson, así mismo Ing. Lucía Quichimbo gracias por la ayuda brindada mientras fuimos estudiantes y luego en el desarrollo de la tesis, se los aprecia.

Daniela M. Minga Calva

ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA.....	i
CERTIFICACIÓN DE TESIS.....	ii
AUTORÍA.....	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	v
ESQUEMA DE TESIS.....	vii
1. TEMA.....	1
2. RESUMEN.....	2
2.1. Abstract.....	3
3. INTRODUCCIÓN.....	4
Objetivos.....	6
- Objetivo general.....	6
- Objetivos específicos.....	6
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
4.1. Generalidades del amaranto y quinua.....	7
4.1.1. Clasificación taxonómica.....	7
4.1.2. Morfología del amaranto y quinua.....	7
4.2. Importancia del amaranto y quinua.....	8
4.3. Descripción anatómica y morfológica de las semillas de las Amaranthaceae.....	9
4.3.1. Anatomía de las semillas.....	9
4.3.2. Morfología de las semillas.....	9
4.4. Germinación de semillas.....	9
4.4.1. Factores que afectan la germinación.....	9
4.5. Calidad de semillas.....	10

4.6.	Viabilidad y Vigor	11
4.7.	Pruebas usadas para evaluar la viabilidad y vigor	12
5.	METODOLOGÍA	15
5.1.	Ubicación del área de estudio:	15
5.2.	Metodología general	15
5.2.1.	<i>Obtención de las semillas:</i>	15
5.2.2.	<i>Envejecimiento acelerado de semillas:</i>	15
5.2.3.	<i>Diseño experimental:</i>	15
5.3.	Análisis estadístico	16
5.4.	Metodología para el objetivo 1	17
a.	<i>Contenido de humedad:</i>	17
b.	<i>Porcentaje de germinación:</i>	17
c.	<i>Tiempo de germinación:</i>	17
d.	<i>Tasa de germinación:</i>	17
e.	<i>Test de tetrazolio:</i>	18
5.5.	Metodología para el objetivo 2	18
a.	<i>Conductividad eléctrica de la semilla:</i>	18
b.	<i>Índice de velocidad de emergencia.</i>	18
c.	<i>Porcentaje de plántulas normales y anormales</i>	19
d.	<i>Altura de plántulas:</i>	19
e.	<i>Largo del sistema radicular (cm):</i>	19
f.	<i>Peso fresco del sistema radicular (g):</i>	19
g.	<i>Peso fresco de la parte aérea (g):</i>	19
h.	<i>Biomasa seca de plántulas:</i>	19
i.	<i>Tasa de elongación de plántulas:</i>	19

j. <i>Diámetro del tallo:</i>	20
6. RESULTADOS.....	21
6.1. Correlaciones	27
7. DISCUSIÓN.....	30
7.1. Correlaciones	35
8. CONCLUSIONES	37
9. RECOMENDACIONES	38
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre la germinación y vigor de la semilla en asociación con el deterioro progresivo.	13
Figura 2. Esquema de campo del experimento.	16
Figura 3. Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\text{ g}^{-1}$) en semillas de amaranto y quinua en función de los diferentes tiempos de envejecimiento acelerado de semillas. Cada columna es la media de 3 repeticiones. Medias con la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test LSD Fisher ($\text{Alfa}<0,05$).	22
Figura 4. Porcentaje de semillas viables según el test de tetrazolio en semillas de quinua y amaranto sometidas a diferentes tiempos de envejecimiento acelerado. Cada columna es la media de 3 repeticiones. Medias con la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test LSD Fisher ($\text{Alfa}<0,05$).	23
Figura 5. Índice de emergencia después de diferentes tiempos envejecimiento acelerado en semillas de quinua y amaranto. Cada columna es la media de 3 repeticiones. Medias con la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test LSD Fisher ($\text{Alfa}<0,05$).	24
Figura 6. Dinámica de la germinación de semillas sometidas a diferentes tiempos de envejecimiento acelerado (0,12,24,48 y 72 h). Cada punto es el promedio de tres repeticiones.	25
Figura 7. Coeficiente de correlación lineal de Pearson entre Altura (cm) y diámetro (mm) de la planta de quinua (A) y amaranto (B), producto de semillas sometidas a diferentes tiempos envejecimiento acelerado. Cada punto representa una repetición.	28
Figura 8. Análisis de correlación entre el índice de emergencia, conductividad eléctrica (A) y test de tetrazolio (B) en semillas de amaranto. Cada punto representa una repetición	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos referentes al modelo estadístico del diseño experimental.....	16
Tabla 2. Tasa de germinación, tiempo de germinación, contenido de humedad de semilla y porcentaje de germinación de semillas de quinua y amaranto después de diferentes tiempos de envejecimiento acelerado.....	21
Tabla 3. Rasgos morfológicos de plántulas después de diferentes tiempos de envejecimiento acelerado en quinua y amaranto.....	25
Tabla 4. Altura de planta, longitud de raíz, diámetro del tallo y tasa de elongación del tallo en plántulas de quinua y amaranto sometidas a diferentes tiempos de envejecimiento acelerado.....	26
Tabla 5. Peso fresco del sistema radicular, biomasa fresca aérea y biomasa seca total de plántulas de quinua y amaranto, después de ser sometidas a diferentes tiempos de envejecimiento acelerado.	27

**Evaluación comparativa de la calidad fisiológica de la semilla de
amaranto y quinua en condiciones de laboratorio**

2. RESUMEN

Amaranto y quinua pertenecen a la familia *Amaranthaceae*, de gran importancia alimenticia e industrial, debido a sus altos contenidos vitamínicos, es por ello que el potencial de explotación es alto. En ausencia de recursos el conocimiento de respuesta de las semillas a las condiciones climáticas es vital, ya que este tipo de semillas son muy susceptibles a un rápido deterioro. Semillas de alta calidad generan plántulas de alto vigor y uniformidad, por lo tanto, altos rendimientos de producción, por lo que se debe recurrir a ciertas pruebas que ayuden a discriminar la calidad de las semillas. El envejecimiento acelerado empleado en especies forestales como agronómicas consiste en someter a semillas a altas temperaturas y humedad relativa controladas. En cuanto a quinua y amaranto, no hay estudio alguno sobre genotipos locales con este tipo de técnicas, es por ello que se plantearon objetivos como, evaluar indicadores de viabilidad y vigor de las semillas de amaranto y quinua sometidas a envejecimiento acelerado. En el laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Nacional de Loja, semillas de amaranto variedad Alegría y quinua variedad Tunkahuan fueron sometidas a envejecimiento acelerado, se colocaron 3 gramos de semilla sobre vasos de precipitación previamente preparados y luego cubiertos para ser sometidas a calor húmedo durante 0, 12, 24, 48 y 72 horas con 3 repeticiones por tratamiento, seguido de ello se hizo varias pruebas para determinar viabilidad y vigor. Al aumentar los tiempos de exposición de las semillas a 72 h a calor húmedo, se aceleró los procesos fisiológicos internos, por lo que la longevidad de estas se aceleró reduciendo los porcentajes de germinación hasta un 73 % en amaranto y 78 % en quinua. El test de tetrazolio, porcentaje de germinación y conductividad eléctrica fueron las pruebas que más sobresalieron, facilitando la selección y clasificación de lotes de semillas según su calidad de viabilidad y vigor. Por otra parte, las variables de vigor no se vieron afectadas por el envejecimiento acelerado de las semillas.

2.1. Abstract

Amaranth and quinoa belong to the Amaranthaceae family, of great nutritional and industrial importance, due to their high vitamin contents, which is why the potential for exploitation is high. In the absence of resources, knowledge of seed response to climatic conditions is vital, as these seeds are very susceptible to rapid deterioration. High quality seeds generate seedlings of high vigor and uniformity, therefore high production yields, so certain tests should be used to help discriminate the quality of the seeds. The accelerated aging used in forest species as agronomics consists in subjecting seeds to high controlled temperatures and relative humidity. With regard to quinoa and amaranth, there is no study on local genotypes with this type of technique, which is why objectives such as evaluating indicators of viability and vigor of amaranth and quinoa seeds subjected to accelerated aging were proposed. In the Plant Physiology Laboratory of the National University of Loja, seeds of amaranth variety Alegria and quinoa variety Tunkahuan were subjected to accelerated aging, 3 grams of seed were placed on preprepared precipitation vessels and then covered to be subjected to moist heat during 0, 12, 24, 48 and 72 hours with 3 repetitions per treatment, followed by several tests to determine feasibility and vigor. By increasing the exposure times of seeds to 72 h to wet heat, internal physiological processes accelerated, thus their longevity accelerated by reducing germination rates to 73 % in amaranth and 78 % in quinoa. The tetrazolium test, germination percentage and electrical conductivity were the most outstanding tests, facilitating the selection and classification of seed lots according to their viability and vigor quality. On the other hand, vigor variables were not affected by accelerated seed aging.

3. INTRODUCCIÓN

En el reino vegetal existe un sin número de especies vegetales destinadas a la alimentación humana y animal; dentro de este grupo se encuentra la familia de las Amaranthaceae, las cuales se caracterizan por adaptarse a zonas pantropicales, con un aproximado de 174 géneros y 2 500 especies (Universidad Nacional del Nordeste, 2001) entre malezas y alimenticias. Este grupo se destaca por su importancia en el mundo de la industria alimenticia, cosmetológica en cremas, shampoos, jaboncillos; ornamentación, medicinales (Sandoval-Ortega & Siqueiros-Delgado, 2019), entre otros campos. Las semillas de amaranto poseen un alto potencial nutritivo según se ha reportado, ya que contienen macronutrientes como carbohidratos y ácidos grasos, los cuales ayudan a la reducción del LDL-colesterol (Trino et al., 2017).

El amaranto y la quinua tienen gran potencial para ser explotados, lo que permitiría diversificar la producción de granos, que principalmente en nuestro país está centrado en pocos cultivos como el arroz y el maíz. Difundir estos cultivos en diferentes localidades requiere conocer la respuesta de las semillas a las condiciones ambientales, ya que la variación de factores del ambiente como temperatura y humedad puede reducir la calidad de la semilla y por lo tanto su conservación.

Las semillas de estas especies se caracterizan por tener una capa de células muertas que rodean las semillas, lo que hace que estas sean altamente higroscópicas, favoreciendo el desarrollo de la radícula en poco tiempo, aproximadamente de 6 a 10 h después de la imbibición (Parsons, 2012). Por lo tanto, las semillas pueden deteriorarse rápidamente en ambientes húmedos y de alta temperatura (Ceccato et al., 2011).

Para garantizar un adecuado establecimiento de los cultivos es fundamental contar con semillas de buena calidad, esto permitiría una buena germinación y crecimiento inicial en condiciones de campo. Disponer de semilla de alta calidad resulta en mayores volúmenes de producción (Catão Moreira & Caixeta, 2017) debido a que el número de plantas por unidad de área está estrechamente relacionado con el rendimiento final de los cultivos de grano. La buena calidad de las semillas permite tener un mayor vigor y uniformidad de plantas en los primeros estadios del cultivo (de Bittencourt et al., 2012). Además, las semillas con alta calidad tienen menos probabilidades de transmitir patógenos (Dias et al., 2010). En base a estos antecedentes, las semillas son un factor crucial para el éxito de la producción de los cultivos, en ausencia de déficit de recursos.

Evaluar el potencial fisiológico de las semillas a través de pruebas de calidad permite obtener información confiable que sirva para tomar decisiones durante la producción y comercialización de los granos. Sin embargo, considerar solamente los resultados de las pruebas de germinación no es suficiente para evaluar el potencial fisiológico de semillas que serán cultivadas en condiciones de campo (Ohlson et al., 2010), además, resulta deficiente para discriminar lotes de semillas en relación con la rapidez y uniformidad de germinación. En ese sentido, las pruebas de vigor junto con pruebas de viabilidad se usan para ayudar en el proceso de toma de decisiones y para hacer que el control de calidad sea más eficiente (de Bittencourt et al., 2012).

El envejecimiento acelerado artificial, es una prueba ampliamente usada debido a que brinda excelente información sobre la calidad fisiológica de las semillas (Santos et al., 2002). En esta evaluación, se someten las semillas a condiciones de alta temperatura y humedad relativa para estimar el potencial de almacenamiento relativo de los lotes de semillas (Delouche & Baskin, 1973). Existen varios reportes que usan esta técnica para la evaluación de la calidad de la semilla en diferentes especies; por ejemplo, en semillas de café, el envejecimiento artificial predijo la capacidad de almacenamiento de las semillas aunque la duración en sí, depende de los cultivares (Fantazzini et al., 2018); otro estudio de este tipo se aplicó en semillas de maíces criollos en donde el envejecimiento de éstas con calor húmedo disminuyó la protrusión radicular, mientras que al aplicar calor seco, redujo la cantidad de plántulas potencialmente productivas y acumulación de materia seca y las vez aumentó la proporción de semillas muertas (Gutiérrez-Hernández et al., 2011); por otro lado, las semillas de garbanzo reaccionaron a esta técnica deteriorando su calidad, tanto así que todo el parámetro fisiológico disminuyó, porcentaje de germinación, longitud de raíz de la plántula como en la longitud de los brotes (Kapoor et al., 2010). Así mismo, esta prueba es usada por las compañías productoras de semillas para el control de calidad y certificación de semillas, ya que los resultados sobre el potencial de almacenamiento de las semillas son altamente confiables (Rocha et al., 2018).

Para las semillas de quinua y amaranto existe muy poca información sobre el uso del envejecimiento acelerado, en combinación con otras pruebas de vigor y viabilidad para evaluar la calidad fisiológica de la semilla. Por otro lado, no existen estudios en nuestro país que consideren la evaluación de la calidad en genotipos locales de quinua y amaranto, por lo tanto, el presente

proyecto, proporciona información relevante que puede ser aplicada a nuestras condiciones para evaluar y garantizar la calidad de las semillas de estos importantes cultivos.

Objetivos

- Objetivo general

Estudiar las alteraciones en la calidad fisiológica de semillas de amaranto y quinua, provocadas por el envejecimiento artificial, utilizando diferentes métodos de vigor y viabilidad.

- Objetivos específicos

Evaluar indicadores de viabilidad de las semillas de quinua y amaranto sometidas a envejecimiento acelerado artificial.

Evaluar indicadores del vigor de las semillas de quinua y amaranto sometidas a envejecimiento acelerado artificial.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Generalidades del amaranto y quinua

4.1.1. Clasificación taxonómica

Reino: Vegetal

División: Fenerógamas

Clase: Dicotiledoneas

Sub clase: Angiospermas

Orden: Centrospermales

Familia: Chenopodiáceas

Género: *Chenopodium*

Subsección: Cellulata

Especie:

- **Quinua:** *Chenopodium quinoa* Willdenow
- **Amaranto:** *Amaranthus cruentus*

4.1.2. Morfología del amaranto y quinua

Tanto el amaranto, como la quinua son especies anuales, herbáceas o arbustivas de diversos colores que van del verde al morado o púrpura con distintas coloraciones.

Raíz: Es de forma pivotante con ramificación frondosa y múltiples raicillas delgadas, una vez que el tallo empieza a ramificarse estas se extienden de forma rápida.

Tallo: Alcanza una altura de 0,40 a 3 m es de forma cilíndrica, anguloso y gruesas estrías longitudinales otorgándole una apariencia acanalada, cuyo grosor disminuye de la base al ápice, con ramificaciones que se originan desde las axilas de las hojas, empiezan desde la base o a media altura.

Hojas: Son pecioladas, ovaladas con borde entero, sin estípulas, elíptica, opuestas o alternas con nervaduras prominentes en el envés, lisas o poco pubescentes de color verde o púrpura cuyo tamaño de 6,5 -15 cm disminuye de la base al ápice.

Inflorescencia: La del amaranto corresponde a panojas amarantiformes o glomeruladas muy vistosas que miden de 0,5 a 0,9 cm, terminales o axilares, que pueden variar de totalmente erectas hasta decumbentes, colores que van del amarillo, anaranjado, café, rojo, rosado, hasta el púrpura (FAO, n.d).

En la quinua la inflorescencia es una panoja típica que mide de 30 a 80 cm con 80 a 120 glomérulos y 100 a 3000 semillas, con un eje central, y ramificaciones, el eje principal está más desarrollado que los secundarios, ésta puede ser laxa (Amarantiforme) o compacta (glomerulada) (Tamayo, 2010).

4.2. Importancia del amaranto y quinua

La quinua en países como Perú, Bolivia y Ecuador, duplicó su producción en los últimos años, este último produce un estimado de 800 a 816 toneladas por hectárea, consumiendo solo 24 gramos al año por persona, mientras que el 95 % es exportado a Estados Unidos y 5 % se exporta a Francia e Inglaterra.

La quinua posee 50 % más de proteínas que otros granos (MAG, s.f.), además de no poseer colesterol y ácido oxálico (Vega-Gálvez et al., 2010).

Para fortalecer la producción de quinua el gobierno está impulsando programas para el aumento de producción por hectárea, ya que al ser un grano muy saludable la demanda por consumo de este grano está en aumento para nuevos países de Asia y África (MAG, s.f.).

El amaranto, así como la quinua se encuentra en al auge productivo en países de Sudamérica como Perú, Bolivia, Argentina y Ecuador, actualmente este cultivo se encuentra reducido a pequeñas áreas, englobando un número de tan solo 500 ha, obteniendo rendimientos de 1000 a 2500 kg ha^{-1} (Andrade, 2014).

Este grano tiene un alto valor nutritivo tanto para el consumo humano como para el animal como forraje ya que posee un balance de aminoácidos (lisina, triptófano, metionina), (Mapes, 2015) proteínas, sus hojas poseen una alta cantidad de hierro mucho más que las espinacas, además de fibra, magnesio y calcio (Andrade, 2014).

En la actualidad este cultivo no es muy requerido ni apreciado en el país, pero en países como Estados Unidos y Holanda es un manjar, la producción del país no abastase la creciente demanda del producto, para el año 2022 se proyecta una demanda creciente de este cultivo de hasta 32680,04 quintales (Olalla, 2017).

4.3.Descripción anatómica y morfológica de las semillas de las Amaranthaceae

4.3.1. Anatomía de las semillas

Su episperma es semiduro (Benítez De Rojas et al., 2006), reflejando cuatro partes: la primera es la cubierta seminal conformada por una capa de células delgada, la segunda capa se llama endospermo, los cotiledones forman la tercera capa el embrión, la cuarta capa es interna llamada perisperma rica en almidón (FAO, s.f.).

4.3.2. Morfología de las semillas

Son pequeñas, desnudas y aplanadas, brillantes, lisas de 1 - 1,5 mm de diámetro, de color blanco, amarillo, dorado, rojo, morado y negras, algunas poseen arilos, así como embrión anular (Benítez De Rojas et al., 2006). El número de semillas por gramo es de 1000 - 3000 de acuerdo a la especie (Grandes, 2015).

4.4.Germinación de semillas

La germinación implica varias etapas, a continuación, se detallan:

- Inhibición: Ingresa el agua al interior de la semilla, esto tardará según la especie, una vez la semilla hidratada se comienzan a activar una serie de procesos metabólicos.
- Germinación “sensu stricto”: Disminución en los niveles de absorción de agua por parte de la semilla y un aumento en la actividad metabólica.
- Fase de crecimiento: Se produce el crecimiento y desarrollo de la radícula a través de las cubiertas seminales (Pita & Pérez, 2013).

4.4.1. Factores que afectan la germinación

Una germinación desfavorable se puede ocasionar por varios factores, propios o extraños a la misma semilla.

Factores internos: También llamados intrínsecos, propios de las semillas.

- **Madurez de las semillas:** Una semilla está completamente madura cuando sus diferentes estructuras han alcanzado su máximo desarrollo y el embrión ha finalizado su crecimiento (Universidad Politécnica de Valencia, 2003). Sin embargo, a pesar de llegar a este punto, algunas semillas son incapaces de germinar ya sea por causa de un desajuste hormonal o insensibilidad de sus tejidos a estas sustancias.

- **Viabilidad de las semillas:** Periodo de tiempo en el cual una semilla sigue vigente para poder germinar en condiciones adecuadas, dependiendo del tipo de semilla y la calidad del almacenamiento (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, 2018). De manera general una semilla pierde su viabilidad ya que entre más longeva es, sus actividades metabólicas van disminuyendo, acumulando productos tóxicos letales para el embrión (Doria, 2010).

Factores externos: Conocidos como extrínsecos, entre los más importantes destacan los siguientes:

- **Humedad:** El agua es importante para reactivar las actividades metabólicas de las semillas rehidratando sus tejidos, y de igual manera el embrión entrar en estado de activación hasta que la radícula emerja, pero, un exceso de agua también es muy perjudicial ya que impide el acceso de oxígeno al embrión (Doria, 2010).
- **Temperatura:** El efecto de la temperatura sobre la germinación está relacionado con las enzimas que regulan la velocidad de ciertas reacciones bioquímicas (Caroca et al., 2016). Existen temperaturas mínima, máxima y óptima las mismas que rigen en el desarrollo de las semillas, estas pueden ser variables entre especies y variedades (Rossetti, 2014).
- **Gases:** La mayoría de semillas requiere de un medio aireado que les permita una buena disponibilidad de O₂ y CO₂, para obtener energía suficiente para mantener sus actividades metabólicas en el embrión (Doria, J., 2010). La germinación se estimula en concentraciones de 2 a 5 % de CO₂, si las concentraciones sobrepasan estos niveles la germinación se inhibe (Vargas, 2012).

4.5. Calidad de semillas

La calidad es un concepto basado en las características importantes para cada sector de la industria. Ciertos atributos implicados en la calidad de las semillas son los genéticos, físicos fisiológicos y sanitarios.

- Genéticamente lo más importante es la pureza de la variedad, indagando si existió un cruce genético con otras variedades.
- Dentro del ámbito físico implica características cuantitativas como tamaño y peso, dentro de las cualitativas incluye características como el color y forma.

- El ámbito sanitario está dado por la presencia o ausencia de organismos patógenos como hongos, bacterias, virus, insectos, ya sean internos o externos.
- El ámbito fisiológico incluye los atributos de viabilidad, capacidad de germinación y vigor (S. Hernández, 2012). Para evaluar la calidad fisiológica se emplean distintas pruebas para cuantificar el nivel de actividad de la semilla, como son: Pruebas de viabilidad con tetrazolio, prueba estándar de germinación y pruebas de vigor (peso seco, crecimiento de plántula, envejecimiento acelerado, conductividad eléctrica, entre otras). Este componente se expresa como el porcentaje de semilla fisiológicamente viable, con respecto al total de la muestra de un lote de semillas.

Los atributos fisiológicos según un estudio no son influenciados por las densidades de población, por lo que deben ser controladas genéticamente; ya que la germinación y el vigor, no mostraron diferencias significativas estadísticamente cuando se varió la densidad de población (Raya Pérez et al., 2012).

El potencial fisiológico del lote de semilla a sembrar tiene una importancia primordial en el establecimiento del cultivo y en el desarrollo inicial de las plántulas. Usando semillas con alto potencial fisiológico disminuimos la necesidad de resiembra y de aparición de otros efectos negativos que afectan la productividad. Sembrar semilla de alto vigor incorpora ventajas importantes como son: mayor capacidad de respuesta ante condiciones ambientales desfavorables, mejor comportamiento aun cuando sean sometidas a amplias variaciones del ambiente, mayor velocidad de germinación y emergencia, lo cual se traduce en menor competencia de las malezas, mayor uniformidad en el desarrollo inicial de la siembra y por ende uniformidad en la maduración y cosecha (Carvajal et al., 2017).

4.6. Viabilidad y Vigor

Una vez que las semillas han sido cosechadas y trilladas es importante que los granos estén secos y limpios, para ser almacenados en recipientes cerrados o costales de tejido estrecho, estos deben ser resguardados en bodegas limpias y secas, protegidas de la entrada de roedores e insectos, buen aire acondicionado y una humedad interna del grano inferior al 13 % (Peralta et al., 2012). Instituciones como INIAP han desarrollado estudios para la conservación de este tipo de granos llegando a deducir que si el almacenamiento es a corto plazo basta con mantener las semillas en recipientes sellados a 10 °C en cuartos fríos, por otro lado, si la conservación es a largo o mediano

plazo las semillas deben estar en bolsas selladas herméticamente con una humedad interna del 8 %, en el caso de material comercial la mejor opción son los silos (Nieto & Vimos, 2000).

Todas estas opciones son estrategias para poder mantener y garantizar la viabilidad y vigor de las semillas de quinua y amaranto, bajo condiciones de almacenamiento la temperatura es más influyente que la humedad manteniendo su vigor y viabilidad por 180 y 240 días más, por otra parte almacenar semillas a -20 °C durante 40 y 60 horas de secado no afectan la calidad de las semillas, así como la solubilidad diferencial de las proteínas es un buen indicador de la viabilidad durante el almacenamiento (Arenas & Heredia, 2017).g

La pérdida de vigor ocurre antes de la germinación, es decir, que lotes de semillas con uniformidad y semejanzas en su germinación pueden diferir en el deterioro del vigor en su comportamiento en campo y almacenamiento (Manfrini, 2004).

4.7.Pruebas usadas para evaluar la viabilidad y vigor

Para la evaluar las características de un lote de semillas y corroborar su viabilidad existen una serie de pruebas o test que se aplican en un sinnúmero de estudios:

- **Pruebas de germinación estándar:** El objeto primordial de este test es determinar la potencialidad de lotes de semillas para desarrollar plántulas normales y producir una implantación rápida y homogénea del cultivo. Este consiste en un conteo preliminar de semillas germinadas y otro al final, con tiempo suficiente para que todas puedan germinar (Díaz Cerón, 2009). Este tipo de prueba ha sido eficiente en semillas de maíz, frejol y sorgo, en donde existen manuales con metodología dedicada exclusivamente para estas especies (Lorente, s.f.).
- **Tetrazolio:** Esta prueba se basa en la actividad de la enzima deshidrogenasa, la cual está presente en los tejidos vivos de las semillas, cuando la semilla entra en contacto en una solución de cloruro de 2,3,5 trifenil tetrazolio, las células vivas sufren una reacción de óxido reducción quedando teñidas de color rosa a púrpura (Gallo et al., 2012). En semillas de *Rhapanus sativus* es muy común emplear este tipo de pruebas ya que ha demostrado ser eficaz a la hora de seleccionar lotes de calidad (Salazar Mercado et al., 2020).
- **Radiografías con rayos X:** Es un ensayo rápido y no destructivo, se lo emplea en semillas de especies forestales, en las radiografías obtenidas se puede observar entre las semillas

que tienen embrión y de las que no, el único problema de esta técnica es que es costoso y requiere de equipo especial (Pita & Pérez, 2013).

Los requisitos de una prueba de vigor incluyen una alta sensibilidad a las diferencias en el potencial fisiológico no detectados por las pruebas de viabilidad y la facilidad de clasificar los lotes de acuerdo a su potencial de rendimiento. La Figura 1 refleja la relación entre el vigor de las semillas y las pérdidas de germinación con el tiempo a medida que avanza el deterioro (Filho, 2015). Existen antecedentes de ser aplicadas a semillas forestales nativas como son *Schinopsis balansae* y *Aspidosperma quebracho-blanco* en donde se pudo observar un gran daño por patógenos, presencia de gorgojos y semillas vanas (Alzugaray et al., 2006).

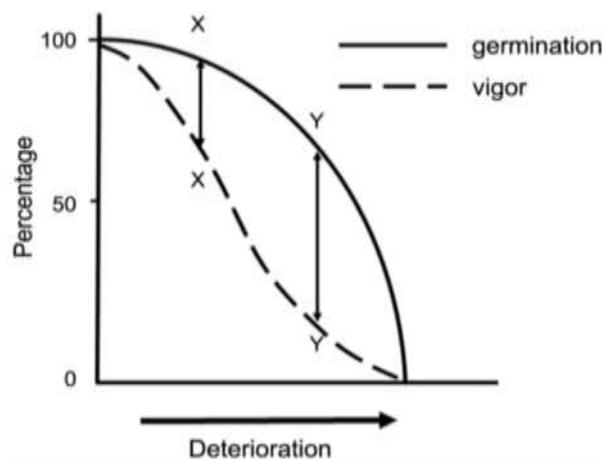


Figura 1. Relación entre la germinación y vigor de la semilla en asociación con el deterioro progresivo.

Autor: Philo, J., 2015

Existen varias pruebas y test para terminar cada uno de los indicadores del vigor de un lote de semillas.

- **Prueba fría:** Esta prueba consiste en exponer las semillas a condiciones adversas de bajas temperaturas entre 8 y 10 °C, humedad alta del sustrato de 70 y 80 %, o a su vez en el caso del suelo que esté se encuentre expuesto a patógenos, bajo estas circunstancias las semillas más vigorosas tendrán la posibilidad de mayor porcentaje de sobrevivencia (Chacón Rubio, 2018). Una de las especies en las que se emplea este tipo de pruebas fue en la simiente de maíz, aplicado a híbridos y variedades criollas para estimar el establecimiento de las plántulas en condiciones óptimas y adversas (Craviotto & Arango Perearnau, 2009).

- **Envejecimiento acelerado:** Nos facilita información sobre el almacenamiento y el potencial de emergencia de las plántulas en el campo. Consiste en hidratar las semillas a un nivel específico, siendo estas expuestas a temperaturas altas (40 a 45 °C) y humedad relativa alrededor del 100 %, luego de esto las semillas son sometidas a pruebas de germinación, donde las de mayor vigor toleran esta condición y como resultado un mayor porcentaje de plántulas normales.
- **Conductividad eléctrica:** Las semillas menos vigorosas muestran una menor velocidad de reparación de la membrana celular en el proceso de absorción de agua, liberando una gran cantidad de solutos hacia el medio externo en donde la prueba evalúa la cantidad de fuga de iones en el agua. Este test ha sido aplicado en semillas de girasol para la estimación del vigor y emergencia en campo (Szemruch et al., 2019).
- **Pruebas basadas en el crecimiento de las plántulas:** Semillas envejecidas naturalmente su germinación es lenta, esto se da durante el inicio de absorción de agua y la emergencia de la raíz primaria. Algunas pruebas toman en consideración longitud y peso seco de plántulas, vigor y tasa de emergencia de la raíz primaria, así como velocidad de germinación (Filho, 2015).

5. METODOLOGÍA

5.1.Ubicación del área de estudio: La presente investigación se llevó a cabo bajo condiciones controladas en las instalaciones del laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Nacional de Loja.

5.2.Metodología general

5.2.1. Obtención de las semillas: Se obtuvo un total de 3 kg de semillas certificadas de quinua y amaranto, cuyas variedades fueron Tunkahuan y Alegría respectivamente, éstas provinieron del cantón Riobamba, cosechadas en septiembre del 2020 (semilla fresca de la última temporada), las mismas que fueron almacenadas bajo condiciones de obscuridad en un ambiente seco con temperatura ambiental entre 11 a 16 °C hasta el momento de los ensayos.

5.2.2. Envejecimiento acelerado de semillas: Para realizar este proceso se emplearon vasos de precipitación, la superficie se cubrió con tela de gasa para evitar que las semillas toquen el agua, debido a su pequeño tamaño, sobre la tela se colocaron 3 gramos de semillas distribuidas uniformemente. En los vasos de precipitación se depositaron 50 ml de agua destilada, las semillas fueron cubiertas para evitar evaporación y se mantuvieron bajo una temperatura de 41 °C durante 0, 12, 24, 48 y 72 horas, con una humedad relativa del 78% (Rosa et al., 2018) para posteriormente seguir con las otras pruebas.

5.2.3. Diseño experimental: Para este estudio se aplicó un diseño completamente al azar (DCA), el cual contó con 1 factor (envejecimiento acelerado), 5 tratamientos y 3 repeticiones, la unidad experimental fueron los 3 g de semillas de cada especie (Tabla 1; Figura 2), por ende, se aplicó su respectivo modelo matemático correspondiente a un lineal.

$$Y_{ij} = \mu_i + E_{ij}$$

Donde:

- Y_{ij} : Observación de la j-ésima UE del i-ésimo tratamiento
- μ_i : Media del i-ésimo tratamiento
- E_{ijk} : Error experimental.

Tabla 1. Datos referentes al modelo estadístico del diseño experimental.

FACTOR	NIVEL
Envejecimiento acelerado	0, 12, 24, 48, 72h
DISEÑO	CANTIDAD
Número de repeticiones	3
Número de tratamientos	5
Unidad experimental	3 g semillas
Número de Unidades experimentales	15

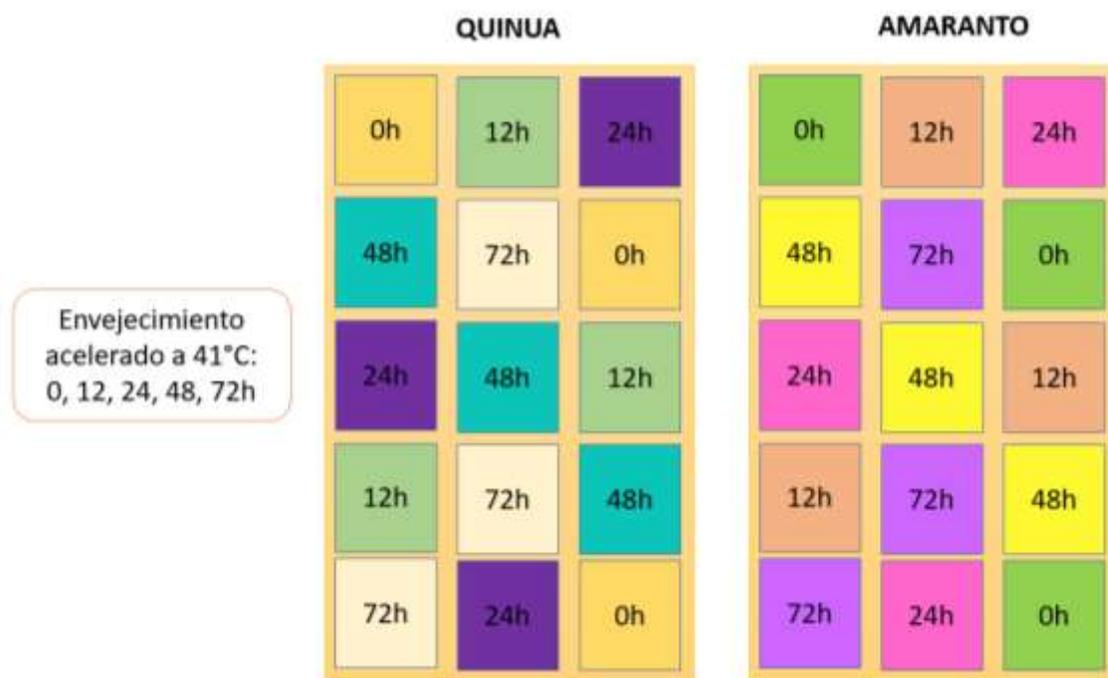


Figura 2. Esquema de campo del experimento.

5.3. Análisis estadístico

Para evaluar el efecto del envejecimiento acelerado, se aplicó un análisis de varianza factorial, al haber existido efecto de los tratamientos se procedió a realizar un test de separación de medias mediante la prueba de LSD Fisher ($\alpha= 0,05$). Previo al ANOVA se evaluaron los supuestos estadísticos de normalidad, independencia de las observaciones y homogeneidad de varianza usando el software Infostat, 2021.

Para evaluar asociaciones entre las variables se realizó el análisis de correlación usando el coeficiente de Pearson ($\alpha= 0,05$). Los gráficos de dinámicas de crecimiento de plántulas, así como, los análisis de relación entre variables se ajustaron a una función lineal o no lineal dependiendo del comportamiento de los datos usando el software GraphPad Prism 8.01.

5.4. Metodología para el objetivo 1

Evaluar indicadores de viabilidad de las semillas de quinua y amaranto sometidas a envejecimiento acelerado artificial. Los indicadores que se evaluaron para cumplir con este objetivo fueron los siguientes:

- a. **Contenido de humedad:** La unidad de medida fue en porcentaje (%), para medir la cantidad de agua que contiene la semilla, se realizó la desecación de 20 semillas por cada repetición de las dos especies en estudio, estas fueron empacadas en papel aluminio en una estufa a 105 °C por 24 h. La frecuencia de medición se registró a las 0, 12, 24, 48, 72 h después de haber realizado el envejecimiento. Además, se empleó la siguiente fórmula:

$$CH = \left(\frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \right) * 100$$

- b. **Porcentaje de germinación:** Para obtener el porcentaje de semillas puras que producirán plántulas normales, se eligieron al azar 20 semillas de cada repetición por tratamiento y especie, éstas fueron colocadas en papel toalla reutilizable previamente humedecido con agua destilada, se sometieron a un conteo diario considerando que las semillas tengan la radícula emergida con un aproximado de 5 mm, esto fue posible luego de las 0, 12, 24, 48, 72 h de ser expuestas al envejecimiento acelerado. Para esto se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% = \left(\frac{N \text{ semillas germinadas}}{\text{Total de semillas}} \right) * 100$$

- c. **Tiempo de germinación:** Para obtener el número total de días de germinación, se realizó un conteo diario de las semillas con la radícula emergida, esto se llevó a cabo luego de las 0, 12, 24, 48 y 72 h del envejecimiento al cual fueron sometidas las semillas. Se empleó la siguiente fórmula:

$$d = [(n_1 \times d_1) + (n_2 \times d_2) + \dots + (n_n \times d_n)] / n$$

n_n = Número de semillas germinadas el día n

d = Días de germinación desde la siembra hasta la germinación de la última semilla

- d. **Tasa de germinación:** Para este parámetro, el porcentaje de semillas germinadas diariamente se sometió a un análisis en el programa Table Curve v5.01, el cual determinó

el número total de semillas germinadas por día en función del número total de días de evaluación de las semillas de amaranto y quinua.

- e. Test de tetrazolio:* Se seleccionaron 20 semillas de cada repetición por tratamiento, previamente fueron puestas a una hidratación durante 2 h para ablandar el pericarpio, luego de ello se realizó un corte transversal facilitando la exposición del embrión, los cuales se cubrieron con cloruro de tetrazolio al 1 %, éstas fueron incubadas por 2 h a una temperatura de 35 °C, luego por medio del microscopio óptico se visualizó el tejido de las semillas y de acuerdo a sus características se determinó la viabilidad de estas, de igual manera este proceso se hizo a las 0, 12, 24, 48, 72 h después del envejecimiento. La unidad de medida fue el porcentaje (%), para lo cual se empleó la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{N \text{ semillas viables}}{\text{Total de semillas}} \right) * 100$$

5.5. Metodología para el objetivo 2

Evaluar indicadores del vigor de las semillas de quinua y amaranto sometidas a envejecimiento acelerado artificial. Para cumplir a cabalidad con lo planteado en el objetivo, se tomaron en cuenta los siguientes indicadores:

- a. Conductividad eléctrica de la semilla:* Para ello se empleó un conductímetro el cual su unidad de medida está expresada en $\mu\text{s cm}^{-1}\text{g}^{-1}$, 100 semillas se colocaron en 25 ml de agua destilada durante un periodo de hidratación de 8 h, se midió la CE del agua en la que estuvieron las semillas, esta prueba se realizó en las semillas sometidas al envejecimiento acelerado por 0, 12, 24, 48 y 72 h.
- b. Índice de velocidad de emergencia.* Para evaluar esta variable, previamente se preparó un sustrato a base de turba, arena y tierra negra, en macetas se colocaron 20 semillas por cada repetición después de ser sometidas al envejecimiento acelerado (0, 12, 24, 48, 72 h) según los tratamientos, el conteo se hizo diario considerando como primer día aquel en el que se observa a las plántulas con las hojas cotiledonales emergidas, por lo que se aplicó la siguiente fórmula:

$$IVE = \sum_{i=1}^n Xi/Ni$$

Xi= Número de plántulas emergidas por día

Ni= Número de días después de la siembra

n= Número de conteos 1, 2....., n conteos

- c. *Porcentaje de plántulas normales y anormales:*** Aquí se realizó el conteo de plántulas que presentaron características ideales como son: diámetro del tallo, número de hojas, tamaño de hojas, entre otros, es decir, aquellas que mostraron el potencial para continuar su desarrollo y dar origen a plantas sanas bajo condiciones favorables (Martins et al, 2002).
- d. *Altura de plántulas:*** Por medio de una cinta métrica, las 20 plántulas de los 5 tratamientos de envejecimiento acelerado con 3 repeticiones cada uno, se midieron desde la base del tallo hasta el ápice apical, las medidas se registraron en **cm**, cabe recalcar que la frecuencia de medición se hizo cuando las plántulas alcanzaron a desarrollar 3 pares de hojas verdaderas de su ciclo fisiológico.
- e. *Largo del sistema radicular (cm):*** Para esto se empleó una regla graduada, midiendo desde el cuello de la raíz hasta la cofia de la misma, el registro de datos se expresó en centímetros, esto se realizó cuando las plántulas alcanzaron a desarrollar 3 pares de hojas verdaderas de su ciclo fisiológico.
- f. *Peso fresco del sistema radicular (g):*** Se utilizó una balanza analítica de precisión (+- 0,001 g) y los datos se expresaron en gramos por plántula. De igual manera esto se realizó cuando las plántulas desarrollaron 3 pares de hojas verdaderas de su ciclo fisiológico
- g. *Peso fresco de la parte área (g):*** Para medir este indicador de vigor, se requirió de una balanza analítica de precisión de (+-0,001 g), los datos se expresaron en gramos por planta. Estos datos se tomaron cuando las plántulas obtuvieron 3 pares de hojas verdaderas de su ciclo fisiológico
- h. *Biomasa seca de plántulas:*** Para medir el peso seco total, las plántulas se secaron en una estufa a 60° C por 48 h, después se empleó una balanza cuya unidad de medida es el gramo, este proceso se aplicó cuando las plántulas alcanzaron a desarrollar 3 pares de hojas verdaderas.
- i. *Tasa de elongación de plántulas:*** De cada repetición se eligieron al azar 3 plantas de las cuales se midió su desarrollo longitudinal cada 2 días. Los datos de altura se ajustaron a

un modelo bilineal utilizando la técnica de optimización iterativa en el software Table Curve v5.01.

- j. *Diámetro del tallo:*** En este caso la medición fue en cm, mediante el empleo de un pie de rey digital, la toma de datos se hizo cada 2 días al igual que la tasa de elongación. A través de los datos del diámetro se ajustaron a un modelo bilineal utilizando la técnica de optimización iterativa en el software Table Curve v5.01.

6. RESULTADOS

Los datos con respecto al efecto del envejecimiento acelerado sobre la calidad fisiológica de las semillas de quinua y amaranto se observan en la tabla 2. Analizando los tiempos de envejecimiento, éstos no reflejaron diferencia significativa alguna en cuanto al tiempo de germinación y porcentaje de humedad en las semillas de quinua, no siendo el mismo caso para la tasa de germinación en donde a las 24 horas se observó mayor diferencia significativa (2,42 semillas germinadas/día) frente al nivel de 72 horas (1,96 semillas germinadas/día) donde se presentaron los valores más bajos, mientras para los niveles de 0, 12 y 48 horas comparten valores estadísticos entre sí no habiendo diferencias significativas. Además, al evaluar el porcentaje de germinación, también se presentaron diferencias estadísticas significativas, siendo el nivel de 24 horas de envejecimiento acelerado, el mayor con 96,67 % de semillas germinadas, seguido de los valores observados a las 0 y 12 horas con 85 %, y por último un 78,33 % de germinación correspondiente a las 72 horas de haber sometido las semillas a envejecimiento. Contrariamente para el caso del amaranto no se presentaron diferencias marcadas en ninguna de las variables evaluadas.

Tabla 2. Tasa de germinación, tiempo de germinación, contenido de humedad de semilla y porcentaje de germinación de semillas de quinua y amaranto después de diferentes tiempos de envejecimiento acelerado.

	Envejecimiento (h)	Tasa de Germinación (semillas día ⁻¹)	Tiempo Germinación (días)	Humedad de semilla (%)	Germinación (%)
Quinua	0	2,13 b	4,68	13,09	85,00 b
	12	2,08 b	4,72	12,41	85,00 b
	24	2,42 a	4,64	11,63	96,67 a
	48	2,13 b	4,65	11,07	83,33 c
	72	1,96 c	4,77	11,25	78,33 d
p		*	ns	ns	*
E.st.		0,05	0,03	0,37	1,82
Amaranto	0	2,17	5,19	12,87	86,67
	12	2,13	5,07	9,38	85,00
	24	2,25	5,20	11,33	90,00
	48	2,17	5,20	9,31	84,67
	72	1,79	5,25	8,04	73,33
p		ns	ns	ns	ns
E.st.		0,07	0,02	0,82	2,88

Letras iguales en sentido vertical dentro de cada especie no expresan diferencia estadística significativa mediante prueba de LSD Fisher (Alfa<0,05).* Los valores son medias de tres repeticiones **ns =efecto no significativo; *efecto significativo p<0,05.

Al aplicar el test de Conductividad Eléctrica (CE) a semillas de quinua se observa (Figura 3) que el envejecimiento acelerado en todos sus niveles tuvo efectos, en donde a las 0 horas se presentó el mayor valor con $221,87 \mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$ mientras que a las 12 y 24 horas los valores fueron menores con 152,23 y $138,93 \mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$ respectivamente. Con respecto al amaranto la CE a las 0 y 48 horas presentó los valores más altos con 17,64 y $18,44 \mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$ para cada nivel de envejecimiento, por otro lado $9,52 \mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$ fue el valor más bajo y significativo, el cual corresponde a las 24 horas del envejecimiento acelerado.

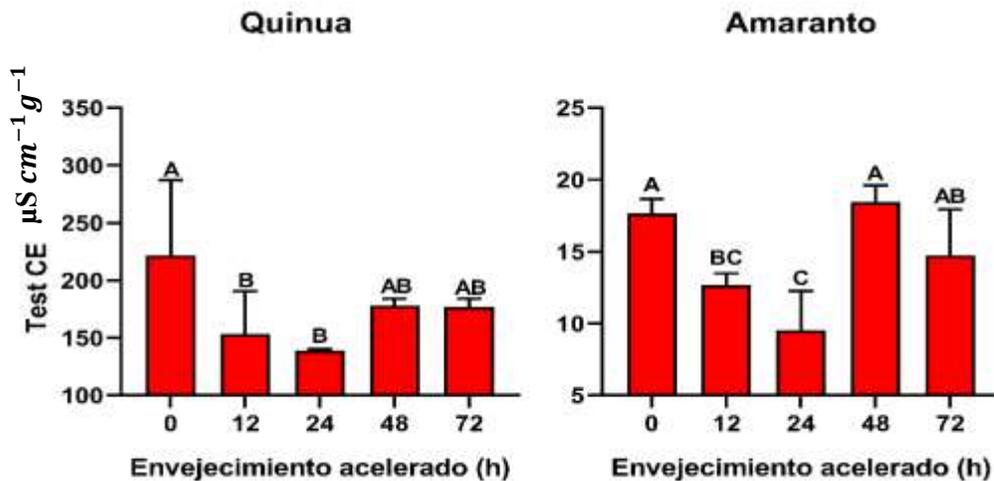


Figura 3. Conductividad eléctrica ($\mu\text{S.cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) en semillas de amaranto y quinua en función de los diferentes tiempos de envejecimiento acelerado de semillas. Cada columna es la media de 3 repeticiones. Medias con la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test LSD Fisher ($\text{Alfa}<0,05$).

Al aplicar el test de tetrazolio a las semillas de quinua luego de ser sometidas a envejecimiento acelerado, se puede evidenciar que existen diferencias significativas entre sus niveles, ya que a las 0 y 24 horas se produjo los mayores valores de semillas viables con 82 % cada una de las horas mencionadas, mientras que a las 72 horas solamente con el 7 %. El efecto del envejecimiento acelerado sobre las semillas de amaranto, si presentó diferencias significativas siendo a las 24 horas el momento donde los valores más altos de viabilidad de semilla (88 %), siendo lo contrario a las 72 horas con los niveles más bajos 15 % (Figura 4).

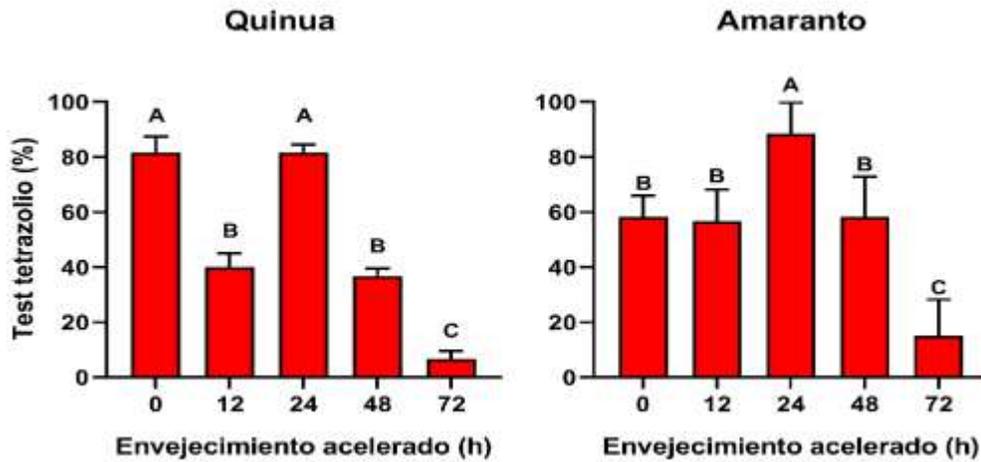


Figura 4. Porcentaje de semillas viables según el test de tetrazolio en semillas de quinua y amaranto sometidas a diferentes tiempos de envejecimiento acelerado. Cada columna es la media de 3 repeticiones. Medias con la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test LSD Fisher ($\text{Alfa} < 0,05$).

El índice de emergencia (IE) fue significativo para quinua y amaranto como lo muestra la Figura 5 ya que a las 24 horas de envejecimiento existió el mayor número de plantas emergidas por día, a las 0, 12, 48 y 72 horas compartieron el número de plantas emergidas por día. En las semillas de amaranto de igual manera existieron diferencias significativas ya que, así como en la quinua también a las 24 horas de envejecimiento se marcaron los valores más altos en el IE, dejando por lado a las 48 y 72 horas en donde juntas obtuvieron el menor número de plantas emergidas por día.

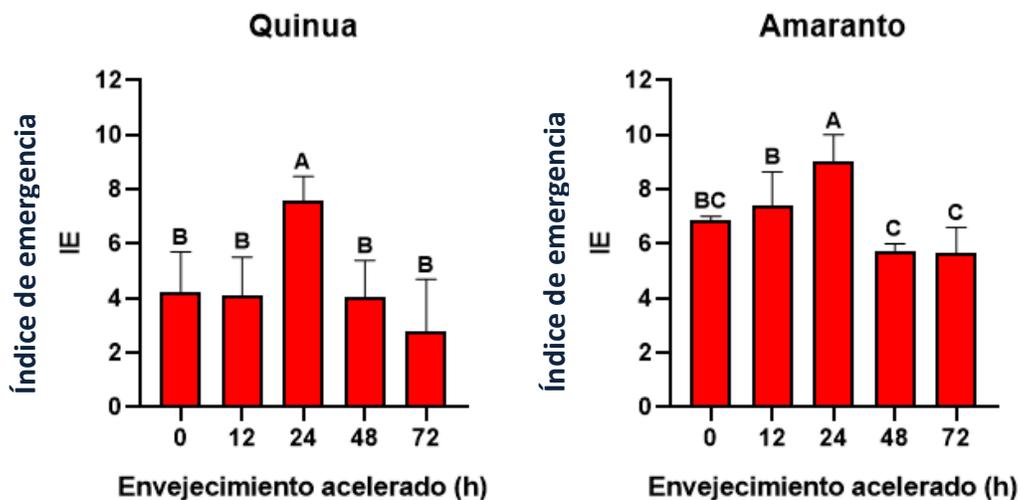


Figura 5. Índice de emergencia después de diferentes tiempos envejecimiento acelerado en semillas de quinua y amaranto. Cada columna es la media de 3 repeticiones. Medias con la misma letra no difieren significativamente de acuerdo al test LSD Fisher (Alfa<0,05).

En la Figura 6 se observa el desarrollo germinativo de las semillas de quinua y amaranto durante un periodo de 8 días luego de ser sometidas a 5 niveles de envejecimiento acelerado, en la quinua las semillas empiezan a germinar a partir del primer día, a las 24 horas de envejecimiento las semillas germinan en mayor número durante todos los 8 días con un 96,66 % frente al resto, en el día 1 los niveles 0 y 48 horas comparten valores de germinación con 63 %, mientras que el envejecimiento de 12 y 72 horas inician con un 50 %, a partir del día 2 las semillas con envejecimiento de 0, 12, 24, 48 y 72 horas no presentan grandes diferencias ya que cada una llega al final de la evaluación con 85, 85, 83 y 78 % de germinación total. Analizando el comportamiento de las semillas de amaranto ante el envejecimiento acelerado, se puede observar que éstas empiezan sus mayores niveles de germinación a partir del día 2, en donde no predomina ninguno de los niveles de envejecimiento, a partir del día 3 existe mayor germinación para las 0, 24 y 48 horas con 75, 78 y 73 %, mientras que a las 12 y 72 horas existe menor germinación, al transcurrir los días las semillas de las 0, 12, 24 y 48 horas germinan de manera casi homogénea, no siendo el mismo caso de las semillas de 72 horas, ya que éstas a partir del día 4 disminuyen sus valores germinativos hasta el 73,33 %.

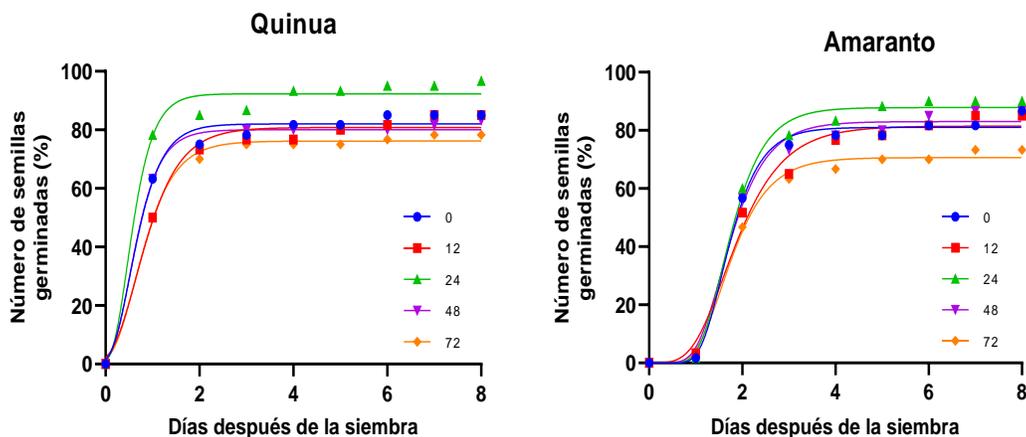


Figura 6. Dinámica de la germinación de semillas sometidas a diferentes tiempos de envejecimiento acelerado (0,12,24,48 y 72 h). Cada punto es el promedio de tres repeticiones.

En la tabla 3 se puede observar el número total de plántulas normales y anormales de semillas de quinua y amaranto, en donde pese a ser sometidas a envejecimiento acelerado no hay diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a plántulas anormales sobre el desarrollo morfológico de éstas, las características más marcadas fueron hojas atrofiadas y tallos débiles, existiendo mayor cantidad de plántulas normales para ambas especies.

Tabla 3. Rasgos morfológicos de plántulas después de diferentes tiempos de envejecimiento acelerado en quinua y amaranto.

	Envejecimiento acelerado (horas)	Plántulas normales	Plántulas anormales	
			Hojas atrofiadas	Tallos débiles
Quinoa	0	12		2
	12	15		1
	24	27	1	
	48	9		
	72	8		
Amaranto	0	32	1	
	12	31		
	24	42		1
	48	23		
	72	23		

En la tabla 4 se muestra el comportamiento de las plántulas de quinua y amaranto frente al envejecimiento acelerado en donde se analizó la altura (cm), el sistema radicular (cm) y el diámetro del tallo (mm), dichas variables para el caso de la quinua no se vieron afectadas en ninguno de los niveles de envejecimiento ya que no hubo diferencias estadísticas significativas, en cambio en amaranto las diferencias si se presentaron en el largo del sistema radicular siendo el tratamiento 2 con las mayores medidas 4,08 cm, mientras que el tratamiento 1 presentó el sistema radicular más pequeño con 2,79 cm, con respecto al diámetro del tallo el tratamiento 2 obtuvo mayor desarrollo 1,22 mm, los tratamientos 3 y 4 presentaron los valores más bajos 1,11 y 1,12 mm, mientras que el control y el tratamiento 1 no son estadísticamente significativos ya que se pueden comportar como el grupo **a** o como el grupo **b**, por último la altura de las plántulas no marcó diferencias estadística alguna en ninguno de los niveles de envejecimiento.

Tabla 4. Altura de planta, longitud de raíz, diámetro del tallo y tasa de elongación del tallo en plántulas de quinua y amaranto sometidas a diferentes tiempos de envejecimiento acelerado

	Envejecimiento	Altura (cm)	Largo de la raíz (cm)	Diámetro del tallo (mm)	Tasa de elongación (mm día ⁻¹)
Quinua	0	12,60	3,33	1,57	0,38
	12	12,93	3,34	1,46	0,40
	24	14,91	3,29	1,82	0,45
	48	13,24	3,67	1,55	0,33
	72	11,76	2,79	1,59	0,37
p		ns	ns	ns	ns
E.st.		0,45	0,13	0,05	0,02
Amaranto	0	8,40	3,21 bc	1,20 ab	0,22
	12	8,19	2,79 c	1,19 ab	0,21
	24	9,22	4,08 a	1,22 a	0,22
	48	7,11	2,94 bc	1,11 b	0,17
	72	8,02	3,58 ab	1,12 b	0,20
p		ns	*	*	ns
E.st.		0,24	0,15	0,03	0,007

Letras iguales en sentido vertical dentro de cada especie no expresan diferencia estadística significativa mediante prueba de LSD Fisher (Alfa<0,05).* Los valores son medias de tres repeticiones **ns =efecto no significativo; *efecto significativo p<0,05.

Se registró el peso fresco del sistema radicular, peso fresco de la parte aérea y biomasa seca total en la tabla 5, mediante pruebas de LSD Fisher se determinó que no hubo diferencias estadísticas significativas tanto en semillas de quinua como de amaranto, es decir que ninguno de los niveles del envejecimiento acelerado tuvo efecto sobre las plántulas con respecto al control.

Tabla 5. Peso fresco del sistema radicular, biomasa fresca aérea y biomasa seca total de plántulas de quinua y amaranto, después de ser sometidas a diferentes tiempos de envejecimiento acelerado.

	Envejecimiento	Peso fresco del sistema radicular (g)	Peso fresco de la parte aérea (g)	Biomasa seca total (g)
Quinua	0	0,0058	0,65	0,059
	12	0,0085	0,62	0,062
	24	0,0127	0,79	0,082
	48	0,0104	0,74	0,071
	72	0,0115	0,74	0,071
	p		ns	ns
E.st.		0,001	0,05	0,005
Amaranto	0	0,0023	0,18	0,026
	12	0,0013	0,15	0,015
	24	0,0029	0,24	0,029
	48	0,0024	0,20	0,021
	72	0,0018	0,21	0,023
	p		ns	ns
E.st.		0,0003	0,01	0,003

Letras iguales en sentido vertical dentro de cada especie no expresan diferencia estadística significativa mediante prueba de LSD Fisher (Alfa<0,05). Los valores son medias de tres repeticiones ns =efecto no significativo; *efecto significativo p<0,05; ** efecto muy significativo p<0,01; * efecto altamente significativo p<0,001.*

6.1. Correlaciones

Según la Figura 7A, en semillas de quinua existe una fuerte correlación entre el diámetro (mm) y la altura (cm) de las plántulas siendo positiva ya que su r fue de 0,7877. En el caso de las semillas de amaranto (Figura 7B), se obtuvo un r positivo de 0,7298, para este caso la dispersión de puntos es mas fuerte en la tratamiento de 24 horas de haber sometido las semillas a calor húmedo al estar ubicados en la parte superior de la línea de regresión.

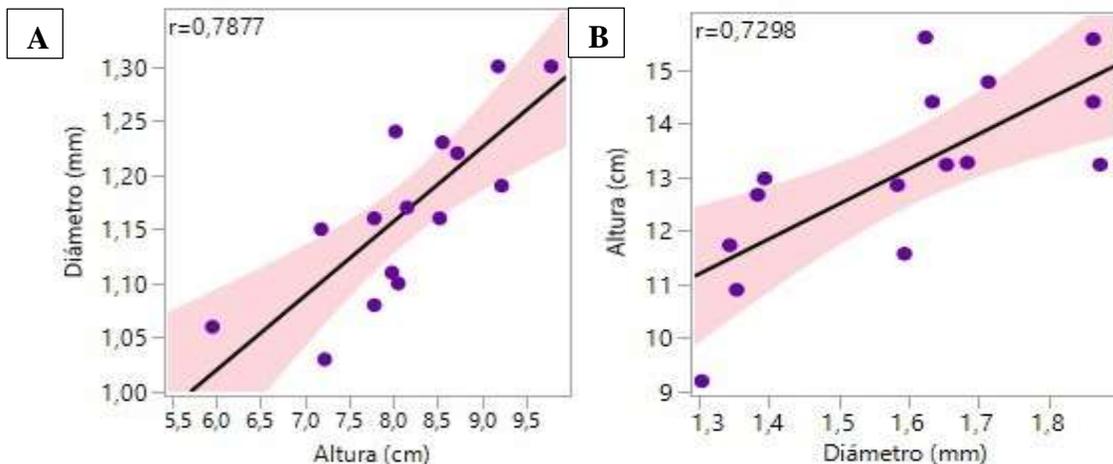


Figura 7. Coeficiente de correlación lineal de Pearson entre Altura (cm) y diámetro (mm) de la planta de quinua (A) y amaranto (B), producto de semillas sometidas a diferentes tiempos envejecimiento acelerado. Cada punto representa una repetición.

El asocio entre el índice de emergencia (IE) y la conductividad eléctrica (CE) fue negativo presentando un r de 0,7524 al 1% de probabilidad, por lo tanto entre mayor sea el índice de emergencia la conductividad eléctrica tiende a disminuir, mientras que la correlación lineal entre el índice de emergencia (IE) y el test de tetrazolio fue positiva arrojando un r significativo de 0,6363, es decir, si el índice de emergencia aumenta el porcentaje del test de tetrazolio lo hará de igual manera, el tratamiento de 24 horas de envejecimiento acelerado es el que sus puntos de distribución se encuentran en la parte superior de la línea de regresión marcando una tendencia altamente significativa en el análisis de regresión de dichas variables (Figura 9).

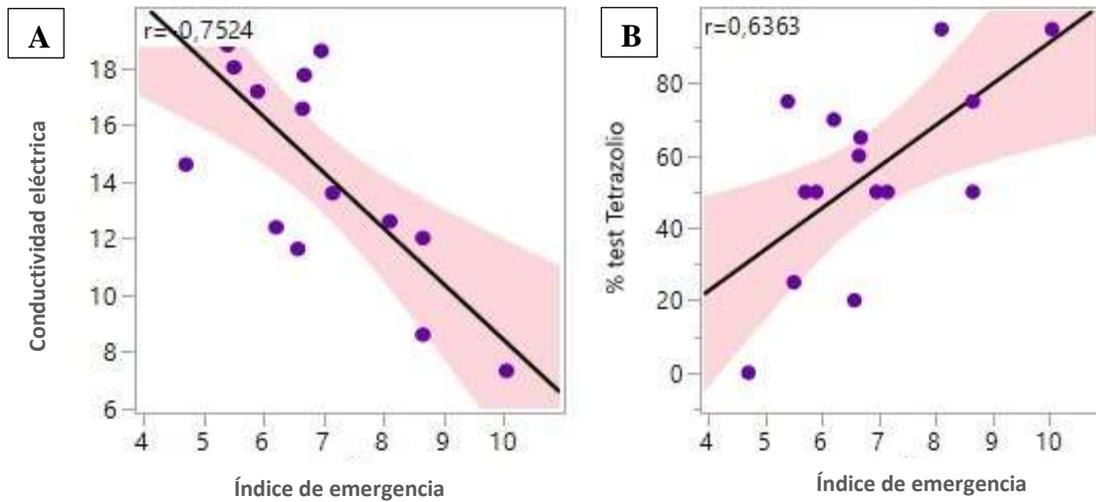


Figura 8. Análisis de correlación entre el índice de emergencia, conductividad eléctrica (A) y test de tetrazolio (B) en semillas de amaranto. Cada punto representa una repetición

7. DISCUSIÓN

La quinua y el amaranto son granos reconocidos por sus excelentes características nutricionales por lo que la producción se ha expandido en los últimos tiempos. Conocer el estado general de un lote de semillas es fundamental para el establecimiento de un cultivo, debido a que una semilla en mal estado no tendrá las condiciones para germinar y convertirse en una nueva planta. En este contexto, en el presente estudio, semillas de quinua y amaranto fueron sometidas a envejecimiento acelerado, con el propósito de evaluar diferentes pruebas para determinar la calidad fisiológica de la semilla, lo cual permitirá llevar un control del estado de las semillas previo a la siembra.

El envejecimiento acelerado ha sido empleado en muchas semillas de interés agronómico y forestal, semillas de *Triticum aestivum* fueron sometidas a este tipo de tratamientos con el propósito de evaluar procedimientos y poder determinar el potencial fisiológico de las semillas, cuyos niveles de tiempo fueron de 48, 72 y 96 horas, en donde al parecer, el tiempo de 48 h es el mejor para evaluar el vigor (Castellanos et al., 2018), otros estudios en semillas de tres variedades de maíz forrajero han empleado el envejecimiento acelerado para analizar su efecto en la viabilidad, desarrollo y crecimiento de plántulas, en donde la variedad “PaísTuxpeño” sobresalió ya que tuvo menor deterioro y mayor resistencia a 24 y 48 h de exposición a calor húmedo siendo, el ideal para la creación de forrajes (González Rodríguez et al., 2018).

Según los resultados observados en la tabla 2, tanto semillas de quinua como de amaranto no presentaron diferencias significativas en el porcentaje de humedad, habiendo únicamente intervalos de 1 a 3 % entre tratamientos para quinua y amaranto respectivamente, sin embargo en teoría, las diferencias entre el porcentaje de humedad no debe sobrepasar el 2 % ya que semillas con mayor presencia de humedad pueden ser afectadas por la presencia de altas temperaturas, humedad relativa y hongos patógenos (Lisboa et al., 2017). El uso de agua destilada para las pruebas de envejecimiento acelerado aumenta la absorción de agua incrementando la tasa de deterioro de las semillas (Alves et al., 2012), dichos resultados de igual manera fueron observados en semillas de *Triticum aestivum* en donde a través del envejecimiento acelerado tradicional a niveles de tiempos de 48, 72 y 96 horas no se marcaron diferencias significativas entre tratamientos permaneciendo prácticamente inalterados (Iván et al., 2018), estudios realizados a semillas de rábano es otro claro ejemplo del comportamiento fisiológico de las semillas a ciertos tipos de estrés

en donde se aplicó la misma metodología desarrollada en semillas de *Triticum aestivum* (De Ávila et al., 2006).

Por otro lado el porcentaje de germinación está relacionado con el aumento del tiempo del envejecimiento acelerado en donde se incrementa la pérdida de azúcares, disminución de carbohidratos y reservas así como la desnaturalización de proteínas, acumulación de metabolitos tóxicos y disminuyendo la capacidad germinativa de las semillas (Cardoso et al., 2019), con dicho análisis fisiológico (envejecimiento acelerado) se pudo comprobar menor porcentaje de germinación en semillas de perejil a las 96 h de envejecimiento a 44 °C (de Tunes et al., 2013), clasificando las semillas en lotes de baja calidad ya que se considera semillas de alto vigor germinativo cuando cuentan con más del 85 % de germinación (Aristizabal Loaiza & Alvarez Paola, 2006). En el presente trabajo los porcentajes más altos de germinación se observaron en los tres primeros niveles de envejecimiento (0, 12 y 24 h) en quinua y amaranto (Tabla 2). El tiempo y tasa de germinación tienen relación, por lo que no existió efecto del tiempo de envejecimiento sobre las semillas de amaranto, con una germinación de 2 semillas por día, en casos como el maíz se observó el mismo comportamiento ya que las diferencias se marcaron entre distintas variedades de la misma especie (García Rodríguez et al., 2014). De igual forma se observó en semillas de crambe (Terra Werner et al., 2013), en la quinua las diferencias estuvieron presentes en la Tasa de Germinación cuyos intervalos no se alejan mucho el uno del otro pudiendo decirse que de igual manera no hubo afectación alguna del tiempo de envejecimiento sobre las semillas (Tabla 2).

El desarrollo germinativo de las semillas en función del tiempo presentó un despunte germinativo a partir del día 1 en quinua y día 2 en amaranto, en donde luego de ello se empezaron a estabilizar el número de semillas germinadas por día, se podría decir que las semillas que germinaron primero contenían mayor porcentaje de reservas a acumuladas pese a ser sometidas a situaciones de estrés de calor húmedo y tiempo, denotando que el resto de semillas requirió de mayor tiempo para poder romper su latencia, tal como sucedió en semillas de maíz sometidas a las mismas situaciones de estrés con un periodo de evaluación de 7 días (Chacón Rubio, 2018) y en semillas de soya con 10 días de conteo (García Rodríguez et al., 2014) (Figura 6).

El test de conductividad eléctrica (CE) es muy empleado para determinar el vigor de semillas ya sean forestales o agronómicas, a menor tiempo de exposición de las semillas a temperaturas controladas en algunos casos se reduce el deterioro de las membranas celulares de las semillas y

por ende disminuye la cantidad de lixiviados libres en el agua, esto también depende de la genética y morfología de éstas. Esto se pudo comprobar en semillas de berenjena (Araméndiz-Tatis et al., 2017), he aquí que en semillas de amaranto y quinua la cantidad menor de lixiviados se produce a las 24 h de exposición al calor húmedo (Figura 3), al entrar en contacto con agua destilada, éstas empiezan a rehidratarse manteniendo e incrementando los procesos fisiológicos, una vez sobrepasado este tiempo las semillas aceleran sus procesos de deterioro de la membrana celular (Vitoria & Méndez, 2007).

Al hacer aplicaciones de tetrazolio, éste pigmenta de manera uniforme y de color morado-rojizo los tejidos seminales que se encuentran en buen estado, la intensidad del color demuestra la permeabilidad de las membranas y presencia de actividad enzimática y bioquímica, lo que indica que el envejecimiento acelerado a mayor tiempo de exposición declina la presencia de la deshidrogenasa y otras funciones (Santos et al., 2004) siendo el caso de la quinua y amaranto, y fréjol reportado por (Romano et al., 2014), se considera una semilla no viable o poco viable cuando la tinción no se marca en los extremos apicales de la plúmula, epicotilo, cotiledones y eje embrionario según la caracterización de semillas de trigo sometidas a envejecimiento acelerado (Carvalho et al., 2013), para el caso de semillas de quinua y amaranto la tinción se mostró fuerte en semillas sometidas a 24 horas de envejecimiento acelerado, cuyos tejidos se encontraron en mejor estado, por ende se deduce que el calor húmedo en este grupo de semillas ocasionó los menores daños posibles en los tejidos otorgando la capacidad de semillas con un alto vigor germinativo (Figura 4).

El índice de emergencia es una forma de saber el número total de semillas emergidas por día, tanto en quinua como amaranto la emergencia se considera cuando ha atravesado el hipocotilo con sus dos cotiledones la superficie del suelo, lo que comúnmente se conoce como estado de fosforito (Gómez Pando & Aguilar Castellanos, 2016), cuando las semillas son expuestas a calor húmedo por cierto tiempo, éstas son capaces de romper la latencia ya sean semillas escarificadas o no, como sucedió en *Brachiaria brizantha* (E. D. Cardoso et al., 2014) llegando al umbral máximo, luego de esto empieza a declinar el número de semillas emergidas por día a medida que son expuestas a mayor tiempo de envejecimiento, este caso se observó de igual forma en semillas de quinua y amaranto donde al pasar el umbral de 24 h de calor húmedo empezó a disminuir el número

de semillas emergidas por día a medida de que se incrementaron los tiempos de exposición (Figura 5).

Las evaluaciones realizadas a fases fenológicas más allá de la germinación del total de semillas emergidas, conllevaron a clasificar entre plántulas normales y anormales, en donde pese a los cambios internos a los cuales fueron sometidas no se vieron reflejados en valores considerables en el momento del desarrollo morfológico de las plantas, las consecuencias (afectación en la división celular, síntesis de macromoléculas, daños en la cromatina traducido en el aumento de las malformaciones de las plántulas) (Pérez et al., 2006) del envejecimiento acelerado se vieron mayormente en el número de semillas no emergidas, las cuales se considera como semillas muertas por este fenómeno, las características de las plántulas anormales fueron hojas atrofiadas y tallos débiles (Tabla 3), en el último caso se puede asociar a las corrientes de aire, en casos como el maíz el envejecimiento acelerado con calor húmedo trajo un número alto de plántulas anormales asociadas a su aptitud genotípica tolerante (Durán-Hernández et al., 2011), el mismo caso se presentó en plántulas de *Prosopis alba* (FONTANA et al., 2016).

En cuanto a la altura de las plántulas y la tasa de elongación, el efecto del envejecimiento acelerado sobre las semillas de quinua y amaranto no fue afectado de manera estadística significativa en ninguno de sus niveles con respecto al control (Tabla 4), contrariamente en semillas de maíz envejecidas en donde las plántulas presentaron menor altura al final del estudio y milímetros de crecimiento por día durante el periodo de evaluación de 14 días en comparación a las semillas sin envejecer (Hilmig & Méndez, 2011). Esto se puede explicar debido a que el estrés del envejecimiento sometido a altas temperaturas provoca una reducción en las interacciones electroestáticas entre las proteínas y la membrana celular y debilita la fuerza en los puentes de hidrógeno (Taiz & Zeiger, 2002). Sin embargo, en sandía los promedios de la altura y el crecimiento diario fueron similares entre semillas envejecidas y semillas sin envejecer, debido a que las consecuencias del calor húmedo se presentaron en mayor escala en la germinación y emergencia de éstas (Reyes, 2018).

El envejecimiento acelerado con calor húmedo no afecta de forma drástica el crecimiento del órgano radicular en comparación con el uso de sales (Almasoum, 2000), como el caso del largo de la raíz de plántulas de arroz cuyas longitudes oscilaron entre 0,06 y 0,064 mm (Souza-Lemes et al., 2016) y quinua en donde el envejecimiento acelerado no tuvo efecto significativo en

comparación con el control, caso contrario en las plántulas de amaranto si se presentaron diferencias (Tabla 4), el mismo caso se presentó en semillas de maíz que al ser sometidas a diferentes tiempos de envejecimiento tradicional las raíces presentaron diferencias longitudinales (A. Hernández, 2015), en girasol la raíz presentó las mismas diferencias luego de ser sometidas a envejecimiento acelerado a 45 °C (Rahim Foroughbakhch-Pournavab et al., 2015), esto se debe a las características genotípicas de cada especie o a la presencia micelar reduciendo el crecimiento longitudinal y división de las células.

El diámetro es mejor indicador de calidad de las plantas que la altura en algunas especies, ya que a mayor diámetro existe un mayor porcentaje de supervivencia de las plántulas por su capacidad de resistir a extremas temperaturas, manejo mecánico y mayor tolerancia al ataque de animales e insectos (Taiz & Zeiger, 2002), el diámetro del tallo no se vio afectado por el estrés al que fueron sometidas las semillas de quinua, mientras el tallo del amaranto si presentó efectos en su grosor (Tabla 4), en donde el tratamiento de 24 horas de calor húmedo presentó el mayor diámetro en mm, en especies como *Dipteryx micrantha* obtuvo un grosor considerable cuando no fue sometida a ningún tipo de estrés con respecto a las semillas que si fueron sometidas a diversos niveles de envejecimiento acelerado, los valores más bajos se manifestaron a medida que iba en aumento el tiempo de exposición a las cámaras de envejecimiento acelerado, sin embargo, semillas de esta misma especie pero procedentes de un lugar distinto se vieron afectadas cuando fueron expuestas a 40 °C por 96 horas, llegando a presentar un aproximado de 3,83 mm, siendo el mayor diámetro presentado en este tipo de plantas (Rengifo & Mamani, 2017), si el ensayo hubiera implicado el uso de sales, los efectos sobre el diámetro fueran notorios independientemente de la especie vegetal ya que las sales intervienen negativamente en el proceso de división y expansión celular (Ramos Lopes et al., 2017).

El peso fresco de las plántulas permite evaluar la acumulación de materia sintetizada y trasladada, pero el diferente contenido de agua en cada planta puede interferir en el análisis (Silveira et al., 2002), la biomasa seca total o peso seco de la plántula, peso fresco radicular y aéreo en plántulas de quinua y amaranto no marcaron diferencias significativas (Tabla 5), el mismo caso fue visible en semillas de frejol mungo con un peso seco acumulado de 9,75 a 10 g y un peso fresco total de 10 a 12,50 g, independientemente del lote de semillas o las horas de estrés a las que fueron sometidas (Silva et al., 2019), en plántulas de soja la biomasa seca total se mantuvo indiferente a

los efectos del envejecimiento acelerado pese a ser clasificadas sus semillas en varios lotes (Vanzolini et al., 2007), sin embargo el peso fresco y seco en plántulas de brócoli si fue afectado luego de ser sometido a diferentes niveles de envejecimiento acelerado, lo que da a deducir que la afectación en sí del estrés de calor húmedo sobre estas variables va a depender de las características genéticas de cada especie vegetal (Barbosa et al., 2011).

7.1. Correlaciones

Las semillas de amaranto mostraron una relación lineal negativa entre el índice de emergencia y la conductividad eléctrica, sin embargo, la variable test de tetrazolio se comportó de manera positiva (Figura 8), en otro estudio aplicado a semillas de soja sucedió algo similar ya que la relación del índice de emergencia con la conductividad eléctrica fue de $r = -0,4946$ y con el test de tetrazolio $r = 0,6627$ (Matera et al., 2019). El comportamiento negativo de la conductividad eléctrica indica que, al asociarse de manera lineal simple, los valores crecientes de una variable se asocian con los valores de crecientes de la otra variable, esta respuesta se atribuye a la naturaleza de la prueba en donde semillas de menor potencial vigoroso liberan una alta concentración de exudados al líquido que contiene las semillas. Es por ello que los valores más altos, se traducen en semillas con menos vigor comparadas con las semillas con membrana completa, es decir, de vigor significativamente alto. El análisis de coeficiente de Pearson para estas mismas variables en cuatro lotes de semillas de caléndula, fue positivo dando un valor de $r = 0,6358$ con la conductividad eléctrica y $r = 0,7627$ con el test de tetrazolio (Silveira et al., 2002), por otro lado el comportamiento positivo de las variables respuesta como son el índice de emergencia y el test de tetrazolio se traducen en semillas de un alto potencial vigoroso, considerándolas como dos variables fuertes para hacer una escala de clasificación entre semillas de alto, mediano y bajo potencial de viabilidad y vigor (González Torres et al., 2008).

La altura es un parámetro que influye positivamente con la capacidad fotosintética, al igual que el diámetro, ya que plantas jóvenes con un diámetro de tallo menor en relación a la altura, poseen una susceptibilidad alta a sufrir daños por viento (Gutiérrez et al., 2010). Éstas características definen la robustez del tallo (G. Rodríguez et al., 2021), para el caso de las plántulas de quinua y amaranto existe un equilibrio entre estas dos variables ya que la correlación fue positiva y fuerte (Figura 7) es decir, a medida que va en aumento la altura el diámetro lo hace progresivamente dando a denotar que la calidad de las plántulas es de alto vigor otorgándoles una resistencia a

factores externos como el viento el cual provoca el doblamiento, además de plagas y herbívoros, en casos como *Dipteryx micrantha* la calidad fue media para semillas envejecidas artificialmente procedentes de dos sitios distintos (Rengifo & Mamani, 2017), según estudios, plantas que cuenten con un equilibrio entre la altura y diámetro son capaces de mantener un estado hídrico óptimo a través de un consumo moderado de agua ante situaciones de estrés hídrico (Villalón-Mendoza, 2016).

8. CONCLUSIONES

El envejecimiento acelerado se aplicó para aumentar el estado de longevidad de las semillas, corroborando que a medida que se incrementan los tiempos de exposición de las semillas a calor húmedo, éstas tienden a disminuir sus porcentajes de germinación.

El test de tetrazolio, porcentaje de germinación y conductividad eléctrica fueron las pruebas que más sobresalieron luego de someter las semillas a envejecimiento acelerado, por lo que se determina que son buenos indicadores del estado fisiológico de las semillas, otorgando la capacidad de clasificación de las semillas en lotes de calidad según su viabilidad y vigor.

Dentro de las variables de vigor se pudo concluir que el envejecimiento acelerado no afecta considerablemente el desarrollo morfológico de las plántulas, y en caso de ciertas diferencias se deben a las características genéticas, fisiológicas y morfológicas de cada especie.

9. RECOMENDACIONES

Para obtener resultados más óptimos se recomienda incrementar los tiempos de exposición de las semillas a calor húmedo, así como también el empleo de sales ya que se ha comprobado en otros estudios similares de que estas evitan la proliferación de microorganismos patógenos, lo que podría servir para tener un mayor efecto sobre el deterioro de las semillas, permitiendo evaluar de mejor manera las pruebas de vigor y germinación.

Otra forma de perfeccionar este tipo de pruebas sería la aplicación de pruebas de calidad las cuales consisten en pruebas físicas en donde se clasifica y descartan todo tipo de semillas que muestren daños destacando las semillas aparentemente buenas, de esta manera aplicar los test a lotes de semillas con características homogéneas aumentando la eficacia y eficiencia en este tipo de estudios.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almasoum, A. A. (2000). Effect of planting depth on growth and productivity of tomatoes using drip irrigation with semi saline water. *Acta Horticulturae*, 537, 773–778. <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2000.537.92>
- Alves, C. Z., Godoy, A. R., da Silva Candido, A. C., & de Oliveira, N. C. (2012). Qualidade fisiológica de sementes de jiló pelo teste de envelhecimento acelerado. *Ciencia Rural*, 42(1), 58–63. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000100010>
- Alzugaray, C., Salinas, A., & Carnevale, N. (2006). Aplicación de la técnica de rayos x en la evaluación de calidad de semillas forestales nativas: *Schinopsis balansae* engl. y *Aspidosperma quebracho-blanco* schlecht. *Agromensajes*, 18, 39–48. <http://rehip.unr.edu.ar/xmlui/handle/2133/559>
- Andrade, D. (2014). *Proyecto de factibilidad para la creación de una empresa de acopio y exportación de amaranto en grano variedad INIAP Alegría, desde las comunidades indígenas de Riobamba a las tiendas de comercio justo en Francia y España*. Universidad Politécnica Salesiana, 1-211. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6252/1/UPS-QT04745.pdf>
- Araméndiz-Tatis, H., Cardona-Ayala, C., & Alzate-Román, K. (2017). Electrical conductivity test in the evaluation of physiological quality in seeds of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Scientia Agropecuaria*, 8(3), 225–231. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.03.05>
- Arenas, L., & Heredia, A. (2017). *CALIDAD Y GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE QUINUA *Chenopodium quinoa* Willd. ALMACENADAS ARTESANALMENTE POR PRODUCTORES*. <https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/766/Trabajo%20de%20grado%20Calidad%20y%20germinaci%C3%B3n%20de%20semillas%20de%20quinua%20Chenopodium%20quinoa%20Willd.%20almacenada.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aristizabal Loaiza, M., & Alvarez Paola. (2006). Efectos del deterioro de la semilla sobre el vigor, crecimiento y producción del maíz (*Zea mays*). *Agronomía*, 14, 16–24. <https://www.researchgate.net/publication/221930198>

- Barbosa, R., Santiago, D., & Eustáquio, M. (2011). ENVELHECIMENTO ACELERADO DE SEMENTES DE ESPÉCIES OLERÁCEAS. *Investigación Agrícola Tropical*, 41(3), 328–335. <https://doi.org/10.5216/PAT.V41I3.9738>
- Benítez De Rojas, C., Cardozo, A., Hernández, L., Lapp, C. M., Rodríguez, H., Ruiz, T., & Pedro Torrecilla, Z. (2006). *BOTÁNICA SISTEMÁTICA FUNDAMENTOS PARA SU ESTUDIO*. <https://doi.org/10.22267/RCIA.163301.5>
- Cardoso, E. D., Haga, K. I., Da Silva Binotti, F. F., Nogueira, D. C., & Filho, W. V. (2014). Desempenho fisiológico e superação de dormência em sementes de *Brachiaria brizantha* submetidas a tratamento químico e envelhecimento artificial. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(1), 21–38. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p21>
- Cardoso, F. B., Rego, C. Q., De Oliveira, I. C., Zuffo, A. M., Da Silva Cândido, A. C., & Alves, C. Z. (2019). Vigor testings for evaluating the physiological quality of chia seeds. *Semina: Ciências Agrárias*, 40(6), 2891–2904. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n6Supl2p2891>
- Caroca, R., Zapata, N., & Vargas, M. (2016). EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA GERMINACIÓN DE CUATRO GENOTIPOS DE MANÍ (*Arachis hypogaea* L.). *Chilean J. Agric. Anim. Sci., Ex Agro-Ciencia*, 32(2), 94–101. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902016000200002>
- Carvajal, C., Márquez, M., Gutiérrez, B., González- Vera, A., Arellano, J., & Ávila, M. (2017). Aspectos de fisiología, deterioro y calidad en semilla de soya. *Revista de La Facultad de Agronomía UCV*, 73(73), 76–92. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/view/15258
- Carvalho, T. C. de, Krzyzanowski, F. C., Ohlson, O. de C., & Panobianco, M. (2013). Tetrazolium test adjustment for wheat seeds. *Journal of Seed Science*, 35(3), 361–367. <https://doi.org/10.1590/s2317-15372013000300013>
- Catão Moreira, H., & Caixeta, F. (2017). Physiological, isozyme changes and image analysis of popcorn. *Journal of Seed Science*, 39(3), 234–243. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v39n3169853>

- Ceccato, D., Bertero, D., & Batlla, D. (2011). Fuentes de tolerancia al brotado pre-cosecha en quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Efecto de las condiciones ambientales sobre el nivel de dormición. *Análisis de Semillas*, 5(17), 50–55. <https://doi.org/10.1017/S096025851100002X>
- Chacón Rubio, M. J. (2018). Pruebas de Vigor en Semillas de Maiz (*Zea mays* L.). *Universidad Agraria La Molina*, 93. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3468/chacon-rubio-milagros-judith.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Craviotto, R. M., & Arango Perearnau, M. R. (2009). Evaluando calidad en simiente de maíz: la prueba de frío. *INTA EEA OLIVEROS*, 41, 107–109. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-calidad-maiz-prueba-de-fro.pdf>
- De Ávila, P. F., Villela, F. A., & De Ávila, M. S. (2006). Teste de envelhecimento acelerado para avaliação do potencial fisiológico de sementes de rabanete. *Revista Brasileira de Sementes*, 28(3), 52–58. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222006000300008>
- de Bittencourt, S. R. M., de Souza Grzybowski, C. R., Panobianco, M., & Vieira, R. D. (2012). Alternative methodology for the accelerated aging test for corn seeds. *Ciencia Rural*, 42(8), 1360–1365. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782012000800005>
- de Tunes, L. M., Pedroso, D. C., Gadotti, G. I., Muniz, M. F. B., Barros, A. C. S., & Villela, F. A. (2013). Envelhecimento acelerado para avaliação do vigor de sementes de salsa. *Horticultura Brasileira*, 31(3), 457–460. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362013000300018>
- Delouche, J. C., & Baskin, C. C. (1973). Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots 1. *Seed Science and Technology*, 1, 427–452. <https://scholarsjunction.msstate.edu/seedtechpapershttps://scholarsjunction.msstate.edu/seedtechpapers/10>
- Dias, M. A. N., Mondo, V. H. V., & Cicero, S. M. (2010). Vigor de sementes de milho associado à mato-competição. *Revista Brasileira de Sementes*, 32(2), 93–101. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222010000200011>

- Díaz Cerón, R. (2009). "PRUEBAS DE VIABILIDAD Y VIGOR EN SEMILLAS DE MAÍZ (*Zea mays L.*) Y SU CORRELACION CON LA EMERGENCIA EN CAMPO." UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, 1-124. <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/94/AGR-537.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Doria, J. (2010). GENERALIDADES SOBRE LAS SEMILLAS: SU PRODUCCIÓN, CONSERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 74–85. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v31n1/ctr11110>
- Durán-Hernández, D., Gutiérrez-Hernández, G. F., Arellano-Vásquez, J. L., García-Ramírez, E., & Virgen-Vargas, J. (2011). Caracterización molecular y germinación de semillas de maíces criollos azules con envejecimiento acelerado. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1), 11. <https://doi.org/10.15517/am.v22i1.11833>
- Fantazzini, T. B., da Rosa, S. D. V. F., Pereira, C. C., Pereira, D. de S., Cirillo, M. Â., & Ossani, P. C. (2018). Association between the artificial aging test and the natural storage of coffee seeds. *Journal of Seed Science*, 40(2), 164–172. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v40n2188120>
- FAO. (s.f.). *Amaranto*. <http://www.fao.org/traditional-crops/amaranth/en/>
- Filho, M. (2015). Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspec. *Scientia Agricola*, 72, 363–374. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0007>
- FONTANA, M. L., PEREZ, V. R., & LUNA, C. V. (2016). PRUEBAS DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO PARA DETERMINAR VIGOR DE SEMILLAS DE PROSOPIS ALBA DE TRES PROCEDENCIAS GEOGRÁFICAS. *FAVE Sección Ciencias Agrarias*, 15(1), 37–50. <https://doi.org/10.14409/fa.v15i1.5871>
- Gallo, C., Craviotto, R., & Arango, M. (2012). Variabilidad de la viabilidad y vigor de lotes de semillas de soja con presencia de simientes verdes pertenecientes a cultivares de distintos grupos de maduración producidos en dos fechas de siembra. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 38(2), 133–140. <https://www.redalyc.org/pdf/864/86423631007>

- García Rodríguez, J. C., González Jiménez, A., Ascencio Luciano, G., Vega Loera, M. A., & Hernández Livera, A. (2014). Calidad fisiológica de la semilla de soya [*Glycine max.* (L.) Merr.], producida en dos regiones de México. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 2(1), 34–42. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v2i1.243>
- Gómez Pando, L., & Aguilar Castellanos, E. (2016). Guía de cultivo de la quinua. In *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Universidad Nacional Agraria La Molina* (Vol. 2), 1-130. www.fao.org/publications/es
- González Rodríguez, F., León Gómez, D., Borges Gómez, L., Pinzón López, L., Magaña Magaña, M., Sangines García, R., & Urrestarazu Gavilán, M. (2018). Envejecimiento acelerado sobre la calidad de semillas de maíz para producir germinados para forraje alternativo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(8), 1487–1493. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i8.1107>
- González Torres, G., Manuel Mendoza Hernández, F., Covarrubias Prieto, J., Morán Vázquez, N., & Alberto Acosta Gallegos, J. (2008). YIELD AND SEED QUALITY OF COMMON BEAN GROWN IN TWO PLANTING DATES AT THE BAJIO REGION. *Agricultura Técnica En México*, 34, 421–430. https://www.researchgate.net/publication/46387717_Rendimiento_y_calidad_de_semilla_de_frijol_en_dos_epocas_de_siembra_en_la_region_del_Bajio
- Grandes, G. (2015). “*CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE 8 LÍNEAS DE AMARANTO (Amaranthus sp.) PROVENIENTES DE RUSIA EN EL BARRIO TIGUALO (SALCEDO) Y EN EL BARRIO LAS MANZANAS (SIGCHOS). COTOPAXI.*” <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2538/1/T-UTC-00074.pdf>
- Gutiérrez, G. O., Flores, H. J. M., Sánchez, A. R., Rodríguez, J. Á. S., Ruiz, J. Á. P., & Magaña, J. J. G. (2010). DIAGNOSTICO DE LA CALIDAD DE PLANTA EN LOS VIVEROS FORESTALES DEL ESTADO DE COLIMA. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(2), 134–144. <https://doi.org/10.29298/RMCF.V1I2.641>
- Gutiérrez-Hernández, G. F., Vázquez-Ramos, J. M., García-Ramírez, E., Franco-Hernández, M. O., Arellano-Vázquez, J. L., & Durán-Hernández, D. (2011). Efecto del envejecimiento

artificial de semillas de maíces criollos azules en su germinación y huella genómica. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(2), 77–84. <https://doi.org/10.35196/rfm.2011.2.77>

Hernández, A. (2015). *Efecto del Deterioro en Semilla de Maíz (Zea mays) Sobre la Germinación y el Vigor, Bajo Condiciones de Laboratorio*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6518/T20381%20HERNANDEZ%20G%c3%93MEZ.%20ADOLFO%20%20%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hernández, S. (2012). *ANÁLISIS DE LA CALIDAD FISIOLÓGICA EN SEMILLAS DE ALGODÓN TRASGÉNICO Y CONVENCIONAL Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Grado de*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6291/T19515%20%20HERNANDEZ%20HERNANDEZ%20%20SERGIO%20%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hilmig, V., & Méndez, J. (2011). Relationship among electrical conductivity, pH of soaked-water, seed germination and seedling growth of corn (*Zea mays* L.) under two experimental conditions. *Scientia Agropecuria*, 2, 213–228. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/52/67>

Iván, C., Castellanos, S., Lemes, E. S., Da, A., Almeida, S., Meneghello, G. E., & Madru-Ga De Tunes, L. (2018b). Methodologies for the Accelerated Aging Test in Triticale Seeds. *Agrociencia Uruguay*, 22(2), 1–6. <https://doi.org/10.31285/agro.22.2.1>

Kapoor, N., Arya, A., Siddiqui, M. A., Amir, A., & Kumar, H. (2010). Seed deterioration in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under accelerated ageing. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9(3), 158–162. <https://doi.org/10.3923/ajps.2010.158.162>

Lisboa, C. F., Araújo, R. S. L. De, Teixeira, I. R., Mota, J. H., Silva, A. G. Da, Araújo, M. E. V. De, Silva, D. D. A., França, E. E., Silva, I. L., Camargo, F. R. T. De, Lisboa, C. F., Araújo, R. S. L. De, Teixeira, I. R., Mota, J. H., Silva, A. G. Da, Araújo, M. E. V. De, Silva, D. D. A., França, E. E., Silva, I. L., & Camargo, F. R. T. De. (2017). Influence of Water Content on the Quality of Pigeonpea Seeds. *American Journal of Plant Sciences*, 8(10), 2397–2406. <https://doi.org/10.4236/AJPS.2017.810162>

- Lorente, R. (s.f.). Como hacer la prueba de germinación de semillas de granos básicos (Maíz, Frijol, Sorgo, Arroz). *SciELO*. Retrieved January 9, 2022, from http://a4n.alianzacacao.org/uploaded/mod_documentos/PRUEBA%20DE%20GERMINACION.pdf
- MAG. (s.f.). *Ecuador proyecta cuadruplicar producción de quinua – Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Retrieved August 22, 2021, from <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-proyecta-cuadruplicar-produccion-de-quinua/>
- Manfrini, D. (2004). Análisis de vigor en semillas. *Revista Del Plan Agropecuario*, 56–58. https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R111/R111_56.pdf
- Mapes, C. (2015). El Amaranto. *Ciencia*, 8–15. http://revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66_3/PDF/Amaranto.pdf
- Matera, T. C., Pereira, L. C., Braccini, A. L., Krzyzanowski, F. C., Scapim, C. A., Piana, S. C., Marteli, D. C. V., Pereira, R. C., Ferri, G. C., & Suzukawa, A. K. (2019). Accelerated aging test and its relationship to physiological potential of soybean seeds. *Journal of Seed Science*, 41(3), 301–308. <https://doi.org/10.1590/2317-1545V41N3212746>
- Nieto, C., & Vimos, C. (2000). LAQUINUA, COSECHA Y POSCOSECHA, ALGUNAS EXPERIENCIAS EN ECUADOR. *INIAP*, 224, 1–35. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/140/1/iniapscb224.pdf>
- Ohlson, O. de C., Krzyzanowski, F. C., Caieiro, J. T., & Panobianco, M. (2010). Teste de envelhecimento acelerado em sementes de trigo. *Revista Brasileira de Sementes*, 32(4), 118–124. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222010000400013>
- Olalla, E. (2017). *PROYECTO DE FACTIBILIDAD PARA LA INDUSTRIALIZACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE HOJUELAS DE AMARANTO EN EL VALLE DE LOS CHILLOS*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, 1-173. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12909/%e2%80%9cPROYECTO%20DE%20FACTIBILIDAD%20PARA%20LA%20INDUSTRIALIZACI%c3%93N%20Y%20COMERCIALIZACI%c3%93N%20DE%20HOJUELAS%20DE%20AMARANTO%20EN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Parsons, R. F. (2012). Incidence and ecology of very fast germination. *Seed Science Research*, 22(3), 161–167. <https://doi.org/10.1017/S0960258512000037>
- Peralta, E., Mazón, N., Murillo, Á., Rivera, M., Rodríguez, D., Lomas, L., & Monar, C. (2012). Manual agrícola de granos andinos. *INIAP*, 1–78. https://balcon.mag.gob.ec/mag01/magapaldia/Quinoa/pdf%20publicaciones/27-MANUAL_AGRICOLA_GRANOS_ANDINOS_2012.pdf
- Pérez, C., Hernández, A., González, F., García, G., Carballo, A., Vásquez, T., & Tobar, M. (2006). Seed size and its relationship with physiological quality in forage maize cultivars. *Semantic Scholar. Agricultura Técnica En México*, 32(3), 341–352. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172006000300010
- Pita, J., & Pérez, F. (2013). Germinación De Semillas Ministerio De Agricultura Pesca Alimentación Secretaría General Técnica. *Hojas Divulgadoras*, 2090(5), 20. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1998_2090.pdf
- Rahim Foroughbakhch-Pournavab, Elly Bacópulos-Mejía, & Benavides-Mendoza, A. (2015). Effect of UV-C radiation on the germination and vigour of three plant species. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 129–137. <https://www.redalyc.org/pdf/3586/358638159001.pdf>
- Ramos Lopes, R., Rockenbach De Ávila, M., Gasparetto, B. F., Lopes De Souza, H., & Franke, L. B. (2017). Accelerated aging parameters in the prediction of physiological and sanitary quality of birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) seeds. *Journal of Seed Science*, 39(1), 82. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v39n1169264>
- Raya Pérez, J. C., Aguirre Mancilla, C. L., Medina Ortiz, J. G., Ramírez Pimentel, J. G., Andrio Enriquez, E., Castellanos Sánchez, A., & Covarrubias Prieto, J. (2012). Physical and physiological seed quality in function of the density of population in two maize hybrids. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4 PG-633–641), 633–641. <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1416/1252>
- Rengifo, A., & Mamani, F. (2017). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FISIOLÓGICA DE SEMILLAS DE SHIHUAHUACO (DIPTERYX MICRANTHA) DE BOSQUES DE TERRAZA ALTA DE DOS PROCEDENCIAS, A TRAVÉS DE LA PRUEBA DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO*, 1-219. Universidad Nacional Amazónica Madre de Dios.

<https://tambopata.org.uk/onewebmedia/Reports/Reports%202015/2015%20-%20S.Rengifo%20&%20R.Mamani%20-%20Final%20report.pdf>

- Reyes, A. (2018). *Evaluar diferentes pruebas de vigor en semillas de cucurbitáceas como estimadores de calidad*. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Rocha, C. da S., Catão, H. C. R. M., Caixeta, F., Kavan, H. K., Claudino, T. M., & Caixeta, D. G. (2018). Physiological quality of popcorn seeds assessed by the accelerated aging test. In *Journal of Seed Science* (Vol. 40, Issue 4, pp. 428–434). <https://doi.org/10.1590/2317-1545v40n4191101>
- Rodríguez, G., Hernández, Y., Enríquez, J., & Campos, G. (2021). Vista de Calidad de plántula de árboles seleccionados de *Leucaena esculenta* en sistema agroforestal. *CIENCIA Ergo-Sum*, 28(1), 1–11. <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/9055/11676>
- Romano, A., Argüello, J., Teves, I., De Pascuale, N., & Oddone, G. (2014). Evaluación de los efectos del deterioro sobre el potencial fisiológico de semillas de poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) por prueba de tetrazolio. *Idesia*, 32(3), 25–30. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292014000300004>
- Rosa, T. D. A., Nadal, A. P., Maldaner, H. R., Soares, V. N., Gadotti, G. I., & Villela, F. A. (2018). Electrical conductivity and accelerated aging in amaranth (*Amaranthus crueentus* L.) seeds. *Journal of Seed Science*, 40, 44-51. <https://doi.org/10.1590/2317-1545V40N1183116>
- Rossetti, S. (2014). *Análisis de factores que afectan la germinación de semillas de *Panicum coloratum**. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA, 1-32. <https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/339/1/doc.pdf>
- Salazar Mercado, S. A., Quintero Caleño, J. D., & Bustos Urbano, V. J. (2020). Implementación de la prueba de tetrazolio en las semillas de *Raphanus sativus* L. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 15(2), 7–15. <https://doi.org/10.18359/RFCB.3831>
- Sandoval-Ortega, M., & Siqueiros-Delgado, E. (2019). Useful plants of the Amaranthaceae family in the state of Aguascalientes, México. In *TECNOCENCIA Chihuahua* (Vol. 1). <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/324/300>

- Santos, C. M. R., Menezes, N. L. de, & Villela, F. A. (2004). Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão envelhecidas artificialmente. *Revista Brasileira de Sementes*, 26(1), 110–119. <https://doi.org/10.1590/s0101-31222004000100017>
- Santos, P. M., Gondim, T. C. O., Araújo, E. F., & Dias, D. C. F. S. (2002). Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho-doce pelo teste de envelhecimento acelerado. *Revista Brasileira de Sementes*, 24(2), 77–81. <https://doi.org/10.1590/s0101-31222002000100013>
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. (2018). *¿Cómo saber que tan viable es una semilla?*. <https://www.gob.mx/snics/articulos/como-saber-que-tan-viable-es-una-semilla?idiom=es>
- Silva, L. M. da, Souza, A. D. V. de, Junior, R. L. S., Arruda, N., Peixoto, N., & Benett, K. S. S. (2019). Accelerated Aging Test to Determine the Vigor of Mungbean Seeds. *Journal of Agricultural Science*, 11(7), p42. <https://doi.org/10.5539/JAS.V11N7P42>
- Silveira, M. A. M., Villela, F. A., & Tillmann, M. Â. A. (2002). Comparação de métodos para avaliação da qualidade fisiológica em sementes de calêndula. *Revista Brasileira de Sementes*, 24(2), 24–30. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222002000100005>
- Souza-Lemes, E., De Oliveira, S., Ciciliano-Tavares, L., Oliveira De Mendonça, A., Dias-Leitzke, I., Eduardo-Meneghello, G., Souza, A. C., & Barros, A. (2016). PRODUCTIVITY AND PHYSIOLOGICAL QUALITY OF IRRIGATED RICE SEEDS UNDER SALT STRESS AND CARBONIZED RICE HUSK ASHES FERTILIZATION PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD FISIOLÓGICA DE LAS SEMILLAS DE ARROZ IRRIGADAS BAJO ESTRÉS SALINO Y FERTILIZACIÓN CON CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ CARBONIZADA. *AGROCIENCIA*, 50(3), 307–321. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30246007004>
- Szemruch, C., Gallo, C., Murcia, M., Esquivel, M., Aranguren, M., García, F., & Medina, J. (2019). Uso del Test de Conductividad Eléctrica para la estimación del vigor y la emergencia a campo de semillas de girasol. *INTA EEA OLIVEROS*, 58, 33–37. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-oliveros.uso-test-conductividad-electrica-estimacion-vigor-girasol.pdf>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant physiology*. (3rd ed.). Annals of Botany.

- Tamayo, L. (2010). *CARACTERIZACIÓN MOLECULAR INTER E INTRA GENOTÍPICA DE 16 ACCESIONES DE Chenopodium quinoa (QUINUA) MEDIANTE LA TÉCNICA DE IS.* UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, 1-84. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1722/MGP%2009-146-TM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Terra Werner, E., Carlos Lopes, J., Gomes Junior, D., Luber, J., & Teixeira do Amaral, J. A. (2013). Accelerated aging test to evaluate the quality of crambe (*Crambe abyssinica* Hochst - Brassicaceae) seed physiology. *Idesia (Arica)*, 31(1), 35–43. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292013000100005>
- Trino, R., Grados, R., Magariños, W., Gutierrez, M., Mamani, D., Perez, J., Arías, J., & Gonzalez, E. (2017). Evaluación del aporte nutricional del amaranto (*amaranthus caudatus* linnaeus), quinoa (*chenopodium quinoa* willd) y tarwi (*lupinus mutabilis* sweet) en el desayuno. *Con-Ciencia*, 5(2), 15–28. http://www.scielo.org.bo/pdf/rcfb/v5n2/v5n2_a03.pdf
- Universidad Nacional del Nordeste. (2001). *Holmbergia tweedii Beta vulgaris Flor Fruto maduro rodeado de tépalos persistentes.* 68–74. <http://exa.exa.unne.edu.ar/carreras/docs/7-%20Core%20Eudicotiledoneas.pdf>
- Universidad Politécnica de Valencia. (2003). *Tema 16: Germinación de semillas.* http://www.euita.upv.es/varios/biologia/temas/tema_17.htm#Factores que afectan a la germinación
- Vanzolini, S., Araki, C. A. dos S., Silva, A. C. T. M. da, & Nakagawa, J. (2007). Teste de comprimento de plântula na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, 29(2), 90–96. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000200012>
- Vargas, M. (2012). FACTORES QUE AFECTAN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS. *BOLTEC*, 24(1), 26–31. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/78728/3Vargas-semillas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient

Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(15), 2541–2547.
<https://doi.org/10.1002/JSFA.4158>

Villalón-Mendoza, H. (2016). Indicadores de calidad de la planta de *Quercus canby* Trel. (encino) en vivero forestal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(1), 46–52.
<https://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v12-n1-5-indicadores-de-calidad-de-la-planta-de-quercus-canby-Trel-encino-en-vivero-forestal.pdf>

Vitoria, H., & Méndez, R. (2007). Relación de la calidad fisiológica de semillas de maíz con pH y conductividad eléctrica. Relation of physiological quality of corn seeds with pH and electrical conductivity. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias UN Cuyo*, 39(2), 91–101.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837654011>