

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

CAPITULO I

1.1 Introducción

La arveja (*Pisum sativum* L.) es una leguminosa de gran importancia a nivel mundial, tanto para consumo humano como animal. La calidad de la semilla es un factor determinante en el éxito del cultivo, por lo que es fundamental evaluar su estado fisiológico antes de la siembra.

Los cinco principales productores del mundo conforman el 70% de la producción total, siendo liderados por Canadá, con alrededor del 30%, seguido en orden de importancia por Rusia, China, Estados Unidos e India.

Si bien, la producción mundial es oscilante, el clima tiene un rol preponderante, ubicándose en torno a las 10 u 11 millones de toneladas, tomando la forrajera y amarilla, para lo cual se destinan una superficie cercana a los 6,2 millones de hectáreas. Canadá es el principal exportador con cerca del 60% del total, comprendiendo los embarques de arveja amarilla entre el 70% y 80% de sus exportaciones.

India también es un importante productor, pero necesita recurrir a la importación para cubrir sus propias necesidades. Lidera la demanda de arveja, con el 36% del total mundial (Bernardi, 2017).

En Bolivia, la producción de arveja se distribuye en los valles interandinos y altiplano de los departamentos de Cochabamba, Potosí, Tarija, La Paz, Chuquisaca y Oruro (Milán y Moreira, 1996) y las diferentes ecorregiones favorecen a la producción de arveja tanto en grano fresco como en vaina (Rojas & Núñez 2013).

A nivel nacional el rendimiento promedio en vaina verde es de 4500-5000 kg/ha y en grano seco de 1125-1250 kg/ha y una superficie cultivada de 33000 ha.

El departamento de Tarija reporta en promedio de 4,4 Ton/ha en grano verde y 1,1 ton/ha en grano seco. Las mayores áreas de producción se encuentran entre 1230 msnm., siendo las principales zonas de producción la comunidad de Sivingal que cultiva anualmente alrededor de 80 has con un rendimiento de 4,4 Ton/ha (Fernández 2020).

En este contexto, surge la necesidad de evaluar la calidad fisiológica de las semillas de arveja almacenadas en el INIAF durante diferentes periodos, con el fin de generar

información sobre el efecto del tiempo de almacenamiento en su potencial productivo. Esta información es crucial para optimizar las prácticas de almacenamiento y conservación de semillas en el INIAF, y para guiar a los agricultores en la selección de semillas de alta calidad para la siembra.

1.2 Descripción del problema

La producción agrícola depende en gran medida de la calidad de las semillas utilizadas para la siembra. Sin embargo, el almacenamiento de las semillas por periodos prolongados puede afectar su viabilidad y potencial germinativo. En este sentido, existe una brecha de conocimiento sobre el impacto del almacenamiento a largo plazo en la calidad fisiológica de las semillas de arveja, particularmente de la variedad Arvejón Yesera. Esta información es crucial para el INIAF, ya que les permitiría brindar recomendaciones precisas a los agricultores sobre la viabilidad de las semillas almacenadas y optimizar su uso en la producción agrícola.

La calidad de las semillas almacenadas puede deteriorarse con el tiempo, lo que puede afectar negativamente su germinación, vigor y desarrollo de las plántulas. Es importante conocer el estado de las semillas almacenadas para garantizar su viabilidad y potencial productivo.

1.3 Planteamiento del problema

El almacenamiento de semillas es un factor crucial en la agricultura, ya que su calidad fisiológica influye directamente en la germinación y el vigor de las plantas. En Bolivia, la variedad de arveja Arvejón Yesera es ampliamente cultivada, pero existen interrogantes sobre la durabilidad de sus semillas cuando se almacenan durante varios años.

¿Cómo afecta el almacenamiento a largo plazo en la calidad fisiológica de las semillas de arveja variedad Arvejón Yesera en el laboratorio del INIAF?

1.4 Justificación

La información sobre el impacto del almacenamiento prolongado en la calidad de las semillas de arveja es insuficiente, lo que dificulta la capacidad de los agricultores e instituciones como el INIAF para tomar decisiones basadas en datos confiables.

Comprender cómo el almacenamiento a largo plazo afecta la calidad fisiológica de las semillas es esencial para asegurar que las semillas almacenadas en el INIAF mantengan su viabilidad y capacidad para producir plántulas vigorosas.

La falta de datos detallados sobre este efecto puede resultar en el desperdicio de semillas que, al perder su capacidad germinativa durante el almacenamiento, podrían no cumplir con los estándares requeridos para una producción eficiente. Evaluar y entender este impacto permitirá al INIAF mejorar sus prácticas de almacenamiento, evitando pérdidas y optimizando el uso de las semillas almacenadas. Además, proporcionará a los agricultores información precisa sobre la calidad de las semillas disponibles para la siembra, garantizando que estas cumplan con los requisitos necesarios para obtener buenos rendimientos en los cultivos.

Este conocimiento no solo contribuirá a una gestión más efectiva de las reservas de semillas, si no también beneficiando tanto a los agricultores como a las instituciones responsables de la producción y distribución de semillas.

1.5 Objetivo General

Evaluar la calidad fisiológica de la semilla de arveja (variedad Arvejón Yesera) almacenadas en el laboratorio del INIAF de diferentes periodos (2021, 2022, 2023 y 2024) mediante la prueba de germinación en arena, con el fin de determinar su viabilidad, potencial germinativo y vigor

1.5.1 Objetivos específicos

- Determinar el contenido de humedad (%) en las semillas de los diferentes años almacenadas.
- Determinar la viabilidad de las semillas de arveja mediante la prueba de tetrazolio.
- Analizar la calidad fisiológica de las semillas de Arvejón Yesera almacenadas en diferentes períodos, evaluando el porcentaje de

germinación y el vigor de las plántulas a través de parámetros como la longitud de la radícula (cm) y el epicótilo (cm).

- Identificar la presencia de patógenos en las plántulas provenientes de semillas almacenadas en cada período.

1.6 Hipótesis

Hipótesis alternativa (Ha):

El tiempo de almacenamiento influye significativamente en la calidad fisiológica de las semillas de arveja (variedad Arvejón Yesera), reflejándose en variaciones en el porcentaje de germinación, vigor, viabilidad y desarrollo de las plántulas.

CAPITULO II
REVISION BIBLIOGRAFICA

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Origen del cultivo de arveja

La arveja es un cultivo que tiene como origen a Oriente Medio y Asia Central, el cual es cultivado miles de años atrás y constituye la gran riqueza del arte culinario de las naciones orientales y que fueron traídos al país por los conquistadores (Ruiz, 2019).

Diferentes historiadores coinciden que el centro de origen se hallaría comprendida entre el Mediterráneo, atravesando el Medio Oriente, hasta llegar al suroeste de Asia. La arveja como cultivo domestico es una de las más antiguas, hallándose evidencias escritas las cuales indican que eran utilizadas por los neolíticos del Cercano Oriente, 7000 a 6000 años a.c. (Ruiz, 2019).

La expansión de su cultivo se dio a regiones con climas templados y lugares altos de los trópicos alrededor del mundo, siendo hasta ahora extensamente producida y consumida, con opciones de hortaliza 4 fresca o en grano seco, en todos los países del mundo, así como Estados Unidos, India, Rusia, Francia y Gran Bretaña, los cuales conforman la lista de los más grandes productores de arveja alrededor del mundo (Ruiz, 2019).

2.2 Importancia económica

La arveja por su alto contenido de proteínas (cercano al 24%) es un producto valioso para el consumo al estado primario, como también para ser industrializada para obtención de harinas, concentrados y otras formas. (Velasco, 2008).

La arveja se produce en forma extensiva con destino a la industria como grano seco para la elaboración, principalmente, de sopas y harinas. También para producto en conserva previamente hidratado, siendo EE.UU. y la UE los mercados más importantes. También es un importante componente en los concentrados para la alimentación animal, especialmente de aves y cerdos. El mercado internacional de arveja para grano seco está dominado por Canadá con una superficie cercana a 1,5 millones de hectáreas. El rendimiento promedio en este país es de alrededor de 2,2 ton/ha. Otros países importantes en la producción de arvejas son Francia y Alemania con superficies muy inferiores a las de Canadá. Francia siembra como promedio unas 240.000 ha y

Alemania unas 90.000 ha; sin embargo, presentan rendimientos muy por encima de los observados en Canadá. Francia llega a 4,0 ton/ha y Alemania a 3,0 ton/ha (Velasco, 2008).

En Chile la arveja para grano seco es un cultivo de poca importancia. Es así como ODEPA reporta estadísticas sólo hasta la temporada agrícola 2003/2004, cuando la superficie llegó a escasas 1.297 ha que equivalen al 50% de la superficie que se sembraba a inicios de la década (2.400 ha) (Velasco, 2008).

Sin embargo, en los últimos años se han elaborado sistemas de producción modernos, que contemplan el uso de variedades áfilas y con altas densidades, sobre 90 plantas por metro cuadrado, lo que ha permitido elevar significativamente los rendimientos y así aumentar la producción de proteína por hectárea. Una característica importante de las variedades áfilas es que son aptas para la cosecha directa con las automotrices utilizadas para el trigo, lo que permite actualmente tener un cultivo totalmente mecanizado.

De manera que la arveja es una opción más para producir proteína en el país, que es demandada por la salmonicultura y la ganadería (Velasco, 2008).

2.3 Producción de la arveja

2.3.1 Superficie cultivada de la arveja en distintas zonas del mundo

Los cinco principales productores del mundo conforman el 70% de la producción total, siendo liderados por Canadá, con alrededor del 30%, seguido en orden de importancia por Rusia, China, Estados Unidos e India (Bernardi, 2017).

Si bien, la producción mundial es oscilante, el clima tiene un rol preponderante, ubicándose en torno a las 10 u 11 millones de toneladas, tomando la forrajera y amarilla, para lo cual se destinan una superficie cercana a los 6,2 millones de hectáreas. Canadá es el principal exportador con cerca del 60% del total, comprendiendo los embarques de arveja amarilla entre el 70% y 80% de sus exportaciones (Bernardi, 2017).

India también es un importante productor, pero necesita recurrir a la importación para cubrir sus propias necesidades. Lidera la demanda de arveja, con el 36% del total mundial (Bernardi, 2017).

2.3.2 Superficie y rendimiento de la arveja verde en Bolivia

En Bolivia, la producción de arveja se distribuye en los valles interandinos y altiplano de los departamentos de Cochabamba, Potosí, Tarija, La Paz, Chuquisaca y Oruro (Milán y Moreira, 1996) y las diferentes ecorregiones favorecen a la producción de arveja tanto en grano fresco como en vaina (Rojas & Núñez 2013).

A nivel nacional el rendimiento promedio en vaina verde es de 4500-5000 kg/ha y en grano seco de 1125-1250 kg/ha y una superficie cultivada de 33000 ha (Rojas & Núñez 2013).

2.3.3 Superficie y rendimiento de la arveja en el departamento de Tarija

El departamento de Tarija reporta en promedio de 4,4 Ton/ha en grano verde y 1,1 ton/ha en grano seco. Las mayores áreas de producción se encuentran entre 1230 msnm., siendo las principales zonas de producción la comunidad de Sivingal que cultiva anualmente alrededor de 80 has con un rendimiento de 4,4 Ton/ha (Fernández 2020).

2.4 Taxonomía

Reino: Vegetal

Phylum: Telemophytae

División: Tracheophytae

Sub división: Anthophyta

Clase: Angiospermae

Sub clase: Dicotyledoneae

Grado Evolutivo: Archichlamydeae

Grupo de Ordenes: Corolinos

Orden: Rosales

Familia: Leguminosae

Sub familia: Papilionoideae

Nombre científico: *Pisum sativum* L.

Nombre común: Arveja

Fuente: (Herbario Universitario (T.B.), 2025)

2.5 Descripción botánica

2.5.1 Características morfológicas

Pertenece a la familia de las Leguminosas; su nombre botánico es *Pisum sativum*. Es planta anual herbácea.

Los tallos son trepadores y angulosos; respecto al desarrollo vegetativo existen unas variedades de crecimiento determinado y otras de crecimiento indeterminado, dando lugar a tres tipos de variedades: enanas, de medio enrame y de enrame.

Las hojas tienen pares de foliolos y terminan en zarcillos, que tienen la propiedad de asirse a los tutores que encuentran en su crecimiento.

Las vainas tienen de 5 a 10 cm de largo y suelen tener de 4 a 10 semillas; son de forma y color variable, según variedades; a excepción del “tirabeque”, las “valvas” de la vaina tienen un pergamino que las hace incomedibles.

Las semillas de arveja tienen una ligera latencia; el peso medio es de 0,20 gramos por unidad; el poder germinativo es de 3 años como máximo, siendo aconsejable emplear para la siembra semillas que tengan menos de 2 años desde su recolección; en las variedades de grano arrugado la facultad germinativa es aún menor.

Desde que nacen las plantas hasta que se inicia la floración, cuando las temperaturas son óptimas, suelen transcurrir entre 90 y 140 días, según variedades (Infoagro, 2022).

2.6 Variedades

Arvejón de Yesera

El sistema radicular es poco desarrollado en conjunto posee una raíz pivotante que puede llegar a ser bastante profunda la raíz principal de la arveja entre 1-2cm de longitud con numerosas raicillas, el tallo fistuloso estriado delgado hueco de longitud variable oscila de 0.25-2 cm, las hojas son compuestas con dos o tres partes de foliolos laterales y terminales son transformados en zarcillos ramificados sensitivos y prensiles, las flores son solitarias o racimos auxiliares como también paucifloros, caliz campanulado glabro, corola blanca o coloreadas 10 estambres diafeltos (9+1), la inflorescencia es en racimo con brácteas foliáceas, el fruto es una legumbre que puede alcanzar los cm de longitud con numerosas semillas ex albuminadas lisas o rabosas blanquecinas amarillentas, la vaina está cubierta por una membrana de tejido

esclerenquematico el endocarpio a llegar a la madurez se contrae y produce dehiscencia (Acosta , 2011).

2.7 Fisiología

2.7.1 Germinación y Emergencia

La germinación es hipogea, los cotiledones quedan bajo tierra. Consta de dos fases:

Primera fase: Se produce una absorción rápida de agua por parte de los cotiledones y del embrión, con duplicación del volumen de la semilla; esta fase dura aproximadamente un día.

Segunda fase: Hay absorción lenta de agua y aumento de la actividad metabólica, emergencia de la radícula, del epicotilo entre los cotiledones, la plúmula se mantiene curvada (protegida), se endurezca y sale la primera hoja: emergencia.

En la plántula, el crecimiento temprano de la raíz hace que las reservas del cotiledón vayan principalmente a ella y que esta se desarrolle bien antes de la expansión de la primera hoja verdadera. Las temperaturas bajas favorecen más el crecimiento de la raíz que el del tallo (Valdez, 2009) citado por (Fernández 2020).

2.7.2 Desarrollo Vegetativo

Inicia tras la germinación y abarca la formación de hojas, tallos y raíces. Las primeras hojas verdaderas emergen rápidamente, seguidas por estructuras como zarcillos y ramas laterales. Esta etapa permite el establecimiento de una arquitectura vegetal eficiente para la fotosíntesis. La arveja requiere temperaturas óptimas entre 16 °C y 20 °C, y suelos sueltos, bien drenados y con pH entre 6 y 7. El crecimiento se ve limitado por temperaturas extremas y suelos compactados. Además, la arveja establece una simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno. Esta etapa es fundamental para lograr un buen rendimiento en la fase reproductiva. Instituto (INIA, 2012).

2.7.3 Floración

La **floración** en las plantas de arveja es un proceso complejo que comienza aproximadamente 20 días antes de la aparición visible de las flores en el ápice de la planta. Este proceso está relacionado con la formación de las flores en las yemas axilares y no tanto en el meristemo apical. La floración depende de factores genéticos

y ambientales, y en plantas indeterminadas, el crecimiento continúa mientras las flores se desarrollan (Jiménez, 2010).

2.7.4 Fructificación y Maduración

La antesis se da después de la polinización y posiblemente, de la fecundación. Unos días más tarde, la corola muere y la legumbre (o vaina) comienza a alargarse y se identifica como una vaina chata hasta que se inicia el llenado de las semillas.

La característica indeterminada del proceso reproductivo hace que los nudos basales estén siempre más avanzados en el desarrollo de la floración y fructificación.

El nitrógeno asimilado en cualquier momento del ciclo, ya presente en la estructura de la planta, es movilizado a las semillas en formación, tanto como el absorbido a partir del comienzo del proceso productivo (Vigliola, 1986).

Durante el crecimiento de la semilla los cotiledones se transforman en un enorme reservorio de proteínas, almidón y fosfato, consumiendo el endospermo. La legumbre cambia del verde al amarillo claro, pasando del estadio de arveja verde a arveja seca, con diferentes usos comerciales (Vigliola, 1986).

2.8 Definición e importancia de la semilla

La semilla son la unidad de reproducción sexual de las plantas y tiene la función de multiplicar y perpetuar la especie a la que pertenecen, siendo uno de los elementos más eficaces para que ésta se disperse en tiempo y espacio. Las semillas son el medio a través del cual, aún de manera pasiva, las plantas encuentran nuevos sitios y microambientes (Doria, 2010).

Las reservas energéticas de la semilla son: grasas, carbohidratos y a veces proteínas, que sostendrán a la futura planta durante sus primeras etapas de vida. Estas reservas, pueden encontrarse en diferentes tejidos o en el mismo embrión. La semilla se forma a partir del rudimento seminal, localizado en el ovario de las flores, tras producirse la fecundación por los granos de polen (Megias, Molist, & Pombal, 2018).

2.8.1 Importancia de la calidad de la semilla

La calidad de la semilla hace referencia a aquella semilla con atributos óptimos de pureza física, pureza genética, calidad sanitaria y calidad fisiológica (INIAF, 2017).

La calidad en semillas de gramíneas se refiere al grado de pureza de una muestra y a la viabilidad de las mismas. La pureza indica la cantidad de semilla pura que hay en una muestra (una semilla pura es una espiguilla con cariósido) (Osechas, 2007).

De acuerdo con Benítez (1975), para evaluar la calidad de la semilla, se determina la pureza física, germinación y latencia. Los parámetros que determinan la calidad de las semillas se definen a continuación:

2.8.1.1 Calidad física

Hace referencia a la pureza físico-botánica y está determinada por la presencia de materia inerte, semillas extrañas, semilla dañada, etc. Se expresa como el porcentaje de peso correspondiente a la semilla de la especie, con respecto al peso total de la muestra de un determinado lote (infoAgro, 2022).

2.8.1.2 Calidad o pureza genética

Hace referencia al porcentaje de semillas que muestran las características genéticamente conocidas de la variedad en cuestión, o dicho de otra manera, es la proporción de semilla de un lote que corresponde a la variedad declarada (infoAgro,2022).

2.8.1.3 Calidad fisiológica

Hace referencia a la capacidad que tiene la semilla para producir una nueva planta. Este parámetro se expresa como el porcentaje de semilla fisiológicamente viable, con respecto al total de la muestra de semilla tomada del lote. Para establecer la calidad fisiológica de un determinado lote de semillas, antes hay que conocer otros parámetros, como son:

2.8.1.3.1 Homogeneidad

Hace referencia a la uniformidad de un lote de semillas, es decir, cómo de iguales son las semillas atendiendo fundamentalmente a la forma, color, peso, etc. La falta de homogeneidad dará lugar a problemas de nascencia (Osechas, 2007).

2.8.1.3.2 Dormición o latencia

Son periodos durante los cuales las semillas no son capaces de germinar, aun poniéndolas en condiciones óptimas.

2.8.1.3.3 Poder germinativo

Hace referencia al porcentaje de semillas que es capaz de germinar si se siembran en condiciones óptimas de temperatura, humedad y luz. Si una semilla es viable, y no presenta latencia, germinará cuando se la ponga en las condiciones adecuadas de humedad, luz y temperatura. Por ello se acepta que la capacidad o el poder germinativo de un lote de semillas es un reflejo directo de su viabilidad (Quiróz y Carrillo, 2004) Citado por (Hernández, 2010).

2.8.1.3.4 Vigor

La capacidad germinativa y el vigor son los principales atributos involucrados dentro del componente de calidad fisiológica en semillas. El concepto de vigor en semillas es un tanto complejo, sin embargo, en forma general se podría decir que, es el potencial biológico de la semilla que favorece un establecimiento rápido y uniforme bajo condiciones incluso desfavorables de campo. En tanto que la germinación, es el proceso fisiológico mediante el cual emergen y se desarrollan a partir del embrión aquellas estructuras esenciales, para la formación de una planta normal bajo condiciones favorables (Quiróz y Carrillo, 2004) Citado por (Hernandez, 2010).

La semilla presenta su más alto nivel de vigor y potencial germinativo cuando alcanza la madurez fisiológica. En este estado, la semilla tiene el máximo peso seco y el embrión ha completado su desarrollo. A partir de este momento, se inicia el proceso de deterioro de la semilla en forma continua e irreversible, hasta perder su capacidad germinativa (Osechas, 2007).

2.8.1.4 Calidad fitosanitaria

Hace referencia a la presencia o ausencia de organismos patógenos causantes de enfermedades (infoAgro, 2022).

2.8.2 Factores que afectan la calidad de la semilla

2.8.2.1 Tamaño de la semilla

La expresión de la calidad fisiológica de las semillas de diversas especies depende fundamentalmente de su tamaño. Se ha observado que el desarrollo inicial está gobernado por la cantidad de reservas, tamaño del embrión, cantidad de proteína y

eficiencia de los sistemas enzimáticos que le confieren mayor velocidad de crecimiento (Chan y Moreno, 1992).

2.8.2.2 Condiciones de almacenamiento

Se ha señalado que la temperatura de almacenamiento y la humedad relativa del ambiente son los factores más importantes que afectan el mantenimiento de la calidad de la semilla. En general, la viabilidad y el vigor de la semilla se reducen cuando la temperatura y el contenido de humedad de la semilla se incrementan (Cordero y Oliveros, 1983).

2.8.2.3 Dormancia de la semilla

La dormancia o latencia es el estado, en el cual, las semillas a pesar de tener las condiciones normales del medio ambiente para su germinación, no lo hacen, debido a mecanismos físicos y fisiológicos internos en la semilla (Copeland y McDonald, 1992). Asimismo, Carambula (1984), señaló que la dormancia constituye un estado que presentan las semillas, en el cual no germinan mientras sus embriones no sufran una serie de cambios fisiológicos y químicos previos. Las causas de la latencia en gramíneas son múltiples y variadas (Osechas, 2007).

Enríquez y Quero (2006), citan como principales causas, la impermeabilidad de la cubierta de la semilla al agua y gases, inmadurez del embrión, requerimientos especiales de temperatura y luz, presencia de inhibidores y restricciones mecánicas del embrión para el crecimiento, desarrollo y extensión de la radícula en la germinación.

2.8.2.3.1 Tipos de dormancia en semillas

La latencia también denominada por varios autores como dormancia, dormición, letargo, reposo o vida latente se clasifica en los siguientes tipos:

2.8.2.3.1.1 Dormancia física

Se manifiesta cuando al final de las pruebas de germinación, queda una cantidad de semillas cuyo volumen y dureza no se modifican. La impermeabilidad es adquirida al final de la maduración durante la desecación.

2.8.2.3.1.2 Dormancia química

Esta dormancia se debe a que la germinación es bloqueada por sustancias inhibidoras del crecimiento que se encuentran en la cubierta de la semilla.

2.8.2.3.1.3 Dormancia mecánica

Esta dormancia es causada por la dureza de la testa o cubierta de la semilla y el endospermo cuyos tejidos oponen resistencia mecánica al crecimiento del embrión.

2.8.2.3.1.4 Dormancia fisiológica

La causa de esta dormancia se debe al bloqueo metabólico en el embrión, ocasionado por la baja permeabilidad de la cubierta a los gases, baja actividad enzimática, producción de coenzimas y ácidos nucleicos, lo cual impide el crecimiento del embrión no permitiendo atravesar la cubierta. Este tipo de latencia en forma natural se elimina por estímulos ambientales, los cuales producen un indicador metabólico para la síntesis de promotores hormonales (Osechas, 2007).

2.8.2.3.1.5 Dormancia morfológica

Esta dormancia es ocasionada por la presencia de embriones rudimentarios, es decir, por embriones que no se han desarrollado completamente.

2.8.3 Calidad fisiológica de la semilla

2.8.3.1 Germinación

Existen pruebas sencillas para el análisis de la calidad de las semillas y fáciles de realizar directamente. Una de ellas es la prueba de germinación. La germinación de una semilla en un análisis ISTA es el surgimiento y desarrollo de la plántula a una etapa en la que el aspecto de sus estructuras esenciales indica si es o no es capaz desarrollarse en una planta satisfactoria en condiciones favorables en el campo (ISTA, 2021).

2.8.4 Viabilidad

La viabilidad de las semillas es el período de tiempo durante el cual las semillas conservan su capacidad para germinar. Es un período variable y depende del tipo de semilla y de las condiciones de almacenamiento. La viabilidad de las semillas puede ser determinada a través de la prueba topográfica de tetrazolio.

El ensayo topográfico de tetrazolio es una prueba bioquímica que puede ser utilizada para hacer una evaluación rápida de la viabilidad de las semillas: cuando las semillas deben sembrarse poco después de la cosecha; en semillas con profunda dormancia; en las semillas que muestran germinación lenta; o en los casos en que se requiera una estimación muy rápida del potencial de germinación. También se puede utilizar: para

determinar la viabilidad individual de las semillas al final del análisis de germinación, especialmente si se sospecha que tienen dormancia (ISTA, 2021).

2.8.5 Semilla germinada

Según las normas ISTA (International Seed Testing Association), una semilla de arveja (*Pisum sativum* L.) se considera germinada cuando las primeras hojas verdaderas emergen por encima del nivel del suelo. En el caso de las semillas hipogeas como la arveja, este criterio se aplica debido a que, durante la germinación hipogea, los cotiledones permanecen bajo tierra mientras que el epicótilo se alarga y eleva las primeras hojas verdaderas hacia la superficie del suelo. Esto contrasta con la germinación epigea, donde los cotiledones emergen fuera del suelo junto con el epicótilo.

2.9 Técnicas y métodos de almacenamiento de semillas

El almacenamiento de semillas es una etapa crítica para conservar su calidad fisiológica, genética y sanitaria. Entre los factores que afectan directamente esta calidad se encuentran la temperatura, la humedad relativa del ambiente, la luz, la ventilación y la presencia de plagas. De acuerdo con Harrington (1972), la “regla del 1 %” establece que por cada 1 % de disminución en la humedad de la semilla o cada 5.5 °C de reducción en la temperatura de almacenamiento, se duplica la vida útil de la semilla. Esta relación evidencia el impacto de las condiciones ambientales sobre la longevidad de las semillas (Harrington, 1972).

La humedad relativa alta (mayor al 70 %) y las temperaturas superiores a 25 °C favorecen la respiración celular, activan procesos metabólicos no deseados y fomentan el desarrollo de hongos y bacterias. Asimismo, la exposición prolongada a la luz puede inducir procesos de fotooxidación que deterioran las membranas celulares y reducen la viabilidad (Bewley et al., 2013). La ventilación insuficiente, por su parte, permite la acumulación de humedad y gases tóxicos como el etileno, lo que también acelera el deterioro de las semillas.

En condiciones ideales, la temperatura debe mantenerse por debajo de los 15 °C y la humedad relativa por debajo del 50 %. Además, se recomienda usar recipientes herméticos, conservar las semillas en la oscuridad y en espacios ventilados (Copeland & McDonald, 2001). Estas medidas, aunque simples, son eficaces para prolongar la vida útil de las semillas y mantener su capacidad germinativa.

El almacenamiento adecuado de semillas tiene como finalidad conservar la viabilidad, el vigor y la capacidad germinativa durante el tiempo que se requiera. Las técnicas de almacenamiento pueden clasificarse en tradicionales y modernas, y su eficacia depende del tipo de semilla, del tiempo de conservación deseado y de las condiciones ambientales donde se encuentren (FAO, 1991).

2.9.1 Técnicas tradicionales:

- **Bolsas de yute o papel:** Utilizadas por agricultores en zonas rurales, permiten el intercambio gaseoso y evitan la acumulación de humedad, pero no protegen del ataque de plagas.
- **Recipientes de barro, madera o calabazas secas:** Utilizados ancestralmente por su accesibilidad. Su eficacia depende de condiciones climáticas estables.
- **Almacenamiento en graneros elevados:** Protege de la humedad del suelo y de roedores, aunque es susceptible a insectos si no se realiza un tratamiento previo.

2.9.2 Métodos modernos:

- **Envases herméticos (plástico o vidrio):** Reducen el intercambio de humedad y oxígeno. Recomendados para períodos de almacenamiento medio.
- **Sellado al vacío:** Técnica avanzada que prolonga la vida útil de las semillas al eliminar oxígeno, reduciendo la respiración celular. Ideal para bancos de germoplasma (Rodríguez, 2017).
- **Refrigeración controlada (4 a 10 °C):** Ralentiza el metabolismo de las semillas y evita el deterioro. Utilizada en laboratorios y centros de investigación (Torres & Méndez, 2015).

- **Desecantes como sílica gel o zeolitas:** Colocados dentro de los envases para reducir la humedad relativa, minimizando la proliferación de hongos y bacterias.
- **Almacenamiento criogénico:** Congelación de semillas a temperaturas inferiores a -150 °C, usada en semillas ortodoxas para conservarlas durante décadas sin perder viabilidad.

Es necesario considerar factores ambientales como:

2.9.3 Factores ambientales

- **Temperatura:** Las temperaturas elevadas aceleran el metabolismo de las semillas, provocando una rápida pérdida de vigor. Para semillas ortodoxas, como la arveja, la temperatura ideal se sitúa entre 4 °C y 15 °C (Copeland & McDonald, 2001).
- **Humedad relativa:** Se recomienda mantenerla entre 30 % y 50 %. Una humedad elevada puede provocar fermentaciones y facilitar el crecimiento de hongos (FAO, 1991).
- **Luz:** La exposición a la luz puede inducir reacciones fotoquímicas, como la fotooxidación, que dañan las estructuras celulares de las semillas (Bewley et al., 2013).
- **Ventilación:** La circulación de aire evita la condensación de humedad y la acumulación de gases nocivos (INIA, 2012).
- **Presencia de plagas:** Es común el uso de técnicas preventivas como la incorporación de desecantes o repelentes naturales (Rodríguez, 2017).

En centros especializados se emplean cámaras de conservación con temperatura y humedad controladas, mientras que en ambientes rurales se aplican métodos como el uso de envases de barro, madera o bolsas de yute. Estos últimos, aunque menos efectivos, son útiles si se acompañan de condiciones ambientales estables y medidas de monitoreo regular (INIA, 2012; Rodríguez, 2

CAPITULO III
MATERIALES Y METODOS

CAPITULO III

METODOS Y MATERIALES

3.1 Zona de estudio

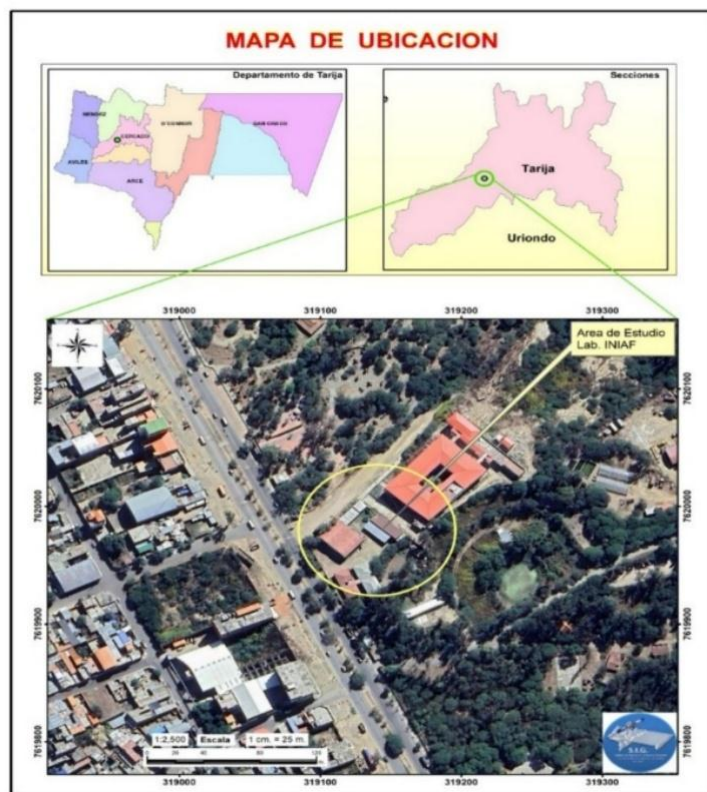
El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de semillas del INIAF (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal) en la ciudad de Tarija. El laboratorio está ubicado en el kilómetro 2.5 de la carretera a Tomatitas, en la provincia Cercado del departamento de Tarija, al sur de Bolivia

3.2 Ubicación geográfica

Se encuentra entre un área en la cual tiene como coordenada. Latitud sur: $21^{\circ} 31' 17''$, longitud oeste: $64^{\circ} 43' 41''$ y altitud: 1.876 metros sobre el nivel del mar.

Figura 1

Ubicación



Fuente:(Gabinete SIG de la F. C. A. y F, 2025)

3.3 Materiales

3.3.1 Material biológico

- Las semillas de arveja (variedad Arvejón Yesera) utilizadas en esta investigación fueron almacenadas en condiciones ambientales del laboratorio del INIAF, sin control de temperatura ni humedad relativa, desde su muestreo en los años 2021, 2022, 2023 y 2024. Se mantuvieron en frascos de plásticos herméticos, protegidas de la luz solar directa y el ingreso de plagas. Aunque no se contó con un sistema de monitoreo ambiental continuo, se puede estimar que las condiciones internas del laboratorio oscilaron entre los 15 °C y 21 °C, con una humedad relativa entre el 50% y 70%, valores típicos del clima templado de Tarija.

La infraestructura del laboratorio incluye paredes de ladrillo sin aislación térmica, techo de calamina y ventanas con cortinas gruesas. Estos materiales permiten fluctuaciones térmicas a lo largo del día y pueden influir en la condensación interna, especialmente en la época de verano. Asimismo, el nivel de ventilación es moderado, con aperturas laterales en horarios laborales. Estas características hacen que las semillas hayan estado sometidas a condiciones semivariabiles.

Debido a estas limitaciones, se considera que las semillas se almacenaron en condiciones ambientales naturales, sin intervenciones tecnológicas específicas, lo cual representa un escenario común en muchos centros de acopio de semillas en países en desarrollo. Esta descripción permite contextualizar los resultados obtenidos y valorar el efecto real del almacenamiento sin control sobre la calidad fisiológica de las semillas

Semillas de arveja variedad Arvejón Yesera, de las gestiones (2021 a 2024)

3.3.2 materiales de laboratorio

- Cámara de germinación
- Microscopio
- Balanza electrónica
- Diafanoscopio

- Determinador de humedad DICKEY Jhon
- Bisturí
- Cajas Petri
- Pinzas
- Solución de tetrazolio concentración 1%
- Arena
- Bandejas de germinación
- Guantes de látex
- Barbijo
- Mandil de laboratorio
- Formulario de registro

3.3.3 Materiales de Gabinete

- Computadora
- Cámara fotográfica
- Calculadora
- Lápiz
- Cuaderno

3.4 Metodología

3.3.4 Tipo de investigación

La investigación será experimental con un diseño completamente aleatorio (DCA), donde los sujetos se asignarán aleatoriamente a diferentes grupos de tratamiento. Se utilizará un Análisis de Varianza (ANOVA) para comparar las medias entre los grupos y determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en los efectos de los tratamientos sobre la variable dependiente. Este enfoque permite evaluar de manera precisa el impacto de los tratamientos aplicados.

3.3.5 Descripción del procedimiento

3.3.5.1 Prueba de la Germinación

La prueba de germinación tuvo la finalidad de determinar la viabilidad de un lote de semillas, la cual se determinó a través del porcentaje de semillas que obtuvieron la capacidad de generar plántulas normales, bajo condiciones óptimas de luz, agua, aire y temperatura. La prueba de germinación en arena se realizó en condiciones de laboratorio, consistente en evaluar la semilla tratada en condiciones controladas de humedad, temperatura y luz, para determinar las plántulas normales que reflejaron la capacidad germinativa

Se desarrolló con muestras de 100 semillas y se estableció en 4 repeticiones de semillas, en bandejas. En esta prueba de germinación en arena, se proveyó la humedad que requirió la semilla durante el proceso de germinación. Fue importante utilizar arena de alta calidad que permitiera un óptimo desarrollo de la germinación y que los resultados pudieran ser reproducibles.

La arena cumplió con los siguientes requisitos:

- a) Fue de buena calidad para que mantuviera la humedad.
- b) Absorbió suficiente humedad para que la semilla pudiera germinar.
- c) No fue tan pesada, ya que eso habría dificultado el desarrollo de la semilla.

Metodología de germinación en Arena

Se pesaron 100 gramos de arena, los cuales se colocaron en un filtro de papel tipo colador de café, y se adicionó enseguida una cantidad previamente determinada de agua (100 ml). Se dejó drenar durante 15 minutos. La cantidad de agua drenada fue de 70 ml, quedando retenidos 30 ml de agua en el sustrato arena.

Para este procedimiento, se preparó la arena en el recipiente donde se realizó el ensayo, en una cantidad moderada. Posteriormente, se humedeció con agua destilada hasta que adquirió una buena humedad. Luego, se colocaron las semillas a 2–2.5 cm de la pared del recipiente; las semillas se ubicaron con una distancia adecuada para asegurar su buen desarrollo. Después de colocar las semillas, se las cubrió con una capa ligera de arena, se volvió a añadir agua destilada y posteriormente se taparon para evitar la evaporación de la humedad. Finalmente, se llevó el recipiente a la cámara de

germinación, que se mantuvo a una temperatura de 25 °C, con 50 % de humedad relativa, 12 horas de oscuridad y 8 horas con luz.

3.3.5.2 Prueba de viabilidad de Tetrazolio

La prueba de viabilidad con tetrazolio se aplicó con el fin de evaluar rápida y eficazmente el estado fisiológico de las semillas almacenadas. Esta prueba permite identificar semillas viables mediante la tinción de los tejidos vivos, gracias a la actividad enzimática de la deshidrogenasa en el embrión, según las normas ISTA (2023).

Este análisis se llevó a cabo según las indicaciones en las normas ISTA. Este procedimiento consistió en lo siguiente:

Se utilizó una solución acuosa de cloruro o bromuro 2,3,5-trifeniltetrazolio a una concentración del 1%.

Todo el material de laboratorio a utilizar para este análisis fue esterilizado previamente.

a) Preparación de la solución de tetrazolio

Se pesó 1 gr de sal de tetrazolio y se la disolvió en 100 ml de agua destilada. La solución se la guardó en oscuridad en recipientes ámbar de color oscuro a 5°C a 10°C y pudo durar por un año.

b) Acondicionamiento de la muestra de semillas

Las semillas estuvieron preparadas con el fin de facilitar la penetración de la solución de tetrazolio. La muestra de semillas fue acondicionada mediante el humedecimiento lento entre papel. Se partió de la muestra de semilla pura; dicha muestra se colocó en cajas Petri en el sustrato entre papel y se las humedeció lentamente.

Posteriormente, la muestra de semillas fue colocada en la cámara de germinación por 16 a 18 horas a una temperatura de 20 a 25 grados con el fin de que las semillas se remojaran y estuvieran en condiciones para proceder con el análisis.

c) Preparación para la tinción

Después de las 16 a 18 horas de remojo de las semillas en cámara de germinación, se procedió a realizar los cortes longitudinales en las semillas, realizando un corte sobre el eje embrionario y aproximadamente tres cuartas partes de la longitud del

endospermo. Se obtuvieron cuatro repeticiones de cien semillas cortadas longitudinalmente, como se describe en las normas ISTA.

Las semillas fueron colocadas en cajas Petri esterilizadas, luego se les adicionó la solución de tetrazolio a una concentración del 1% de manera que quedaran sumergidas en la solución, y se cubrieron las cajas Petri con papel aluminio. Las semillas fueron llevadas a la estufa de laboratorio por 3 horas a una temperatura de entre 35°C a 40°C.

d) Evaluación de las semillas

Luego de la inmersión de las semillas en solución de tetrazolio, estas fueron enjuagadas con agua y se procedió a realizar la evaluación de cada semilla.

Fueron evaluadas como viables o no viables sobre la base de patrones de tinción y solidez del tejido, según la coloración presentada, debiendo realizarse la evaluación de acuerdo a las normas ISTA y manuales de viabilidad con ayuda del microscopio. El número de semillas viables fue determinado en cada reiteración y se calculó el promedio de las cuatro réplicas, expresado en porcentajes. Para confirmar la fiabilidad de un resultado, la diferencia entre las reiteraciones no debió exceder la tolerancia indicada en la tabla 6 B de las normas ISTA.

3.3.5.2 Cálculo de la viabilidad

La viabilidad fue expresada en porcentaje, calculando la relación entre el número de semillas viables y el total de semillas evaluadas, con el siguiente criterio:

$$\text{Viabilidad (\%)} = \left(\frac{\text{semillas viables}}{\text{Total de semillas evaluadas}} \right) \times 100$$

Tabla 1
Tabla de evaluación para prueba de tetrazolio

Categoría	Características observadas	Resultado	Imagen referencial
Semillas viables	-Embrión teñido de color rojo o rosado intenso - Teñido uniforme en tejidos vitales - Sin daño en zonas esenciales	Viable	
Semillas no viables	-Embrión sin teñido o con coloración pálida -Presencia de tejidos descompuestos o dañados -Teñido incompleto o localizado	No viable	

Fuente: elaboración propia

3.3.5.3 Determinación del contenido de la humedad

El contenido de humedad de las muestras se determinó a través de un método indirecto con un determinador de humedad DICKEY-JOHN.

Se colocó la muestra de semilla de un kilogramo en una tolda, la cual se llevó al vacío; la semilla determinó la humedad de esta.

Se procedió a la lectura de la humedad, hasta dos veces o más, si es que las lecturas diferían bastante; si ese fuere el caso, se procedió a calcular la media de las lecturas. Las lecturas obtenidas fueron sumadas y divididas entre el número de lecturas total; así se obtuvo el porcentaje promedio de humedad.

Formula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{p_1 - p_2}{p_1} * 100$$

3.3.5.5 Porcentaje de germinación

Este análisis se realizó según las especificaciones del ISTA.

Cada análisis de germinación consistió en lo siguiente:

Todo el material de laboratorio a utilizar fue esterilizado previamente.

Se partió de la semilla pura, se colocaron 100 semillas por réplica en sustrato arena, se humedeció uniformemente con agua desinfectada y las réplicas se colocaron en la cámara de germinación a 25 °C durante 8 días, de acuerdo a las reglas establecidas por el ISTA para estas semillas.

Se calculo el % de germinación con la siguiente formula:

$$\% \text{ de Germinacion} = \frac{\text{numero de semillas germinadas}}{\text{numeros de semillas sembradas}} * 100$$

3.3.5.6 Velocidad de germinación (semillas germinadas / días):

Velocidad de germinación en número medio de días para germinar La velocidad de germinación se determinará utilizando la fórmula de Parizot, 1988):

$$\text{Número medio de días} = \frac{N_1T_1 + N_2T_2 \dots \dots + N_nT_n}{N_1 + N_2 + \dots \dots N_n}$$

Donde:

N1= número de semillas germinadas durante el tiempo T1

N2= número de semillas que hayan germinado entre el intervalo de tiempo T1 y T2

3.3.5.7 Longitud de la radícula en (cm)

Se medio la longitud de la radícula, que es la primera estructura que emerge de la semilla durante la germinación.

Se utilizo una regla milimétrica para medir la longitud de la radícula de cada plántula germinada, asegurando la precisión y consistencia en las mediciones.

3.3.5.8 Longitud del Epicótilo en (cm)

Se midió la longitud del epicótilo, la parte de la plántula entre la radícula y la primera hoja verdadera.

Se utilizó una regla centimetrada para medir la longitud del Epicótilo de cada plántula germinada, asegurando la consistencia en las mediciones y utilizando el estándar de ISTA para informar sobre el desarrollo de las plántulas.

3.3.5.9 Vigor de las plántulas

Se evaluó el vigor de las plántulas considerando la longitud del epicótilo y radícula, así como su desarrollo morfológico. La longitud promedio del epicótilo varió entre 7.3 cm (2024) y 9.2 cm (2022), mientras que la longitud de la radícula osciló entre 11.25 cm (2021) y 16.35 cm (2022).

Se realizó una evaluación visual del vigor de las plántulas basada en criterios como color, longitud de la radícula y epicótilo, Se registrarán las observaciones de manera detallada según las directrices de ISTA

3.3.5.4 Evaluación de Sanidad:

Se observó las plántulas para detectar síntomas de enfermedades fúngicas o bacterianas.

Empleando técnicas específicas (microscopía, pruebas) para identificar los patógenos presentes

Técnicas de identificación de patógenos:

Microscopía:

- **Observación directa:** se preparó láminas finas de tejido vegetal afectado y se observó bajo un microscopio para detectar estructuras fúngicas como hifas, conidios o esporas.

3.3.6 Modelo estadístico

Tabla 2

Diseño experimental

	Niveles	Tratamientos	Repeticiones	Unidades Experimentales
FACTOR: Tiempo de almacenamiento	2021	T1	4	16
	2022	T2		
	2023	T3		
	2024	T4		

Fuente: elaboración propia

El presente experimento se desarrolló bajo un diseño completamente aleatorizado, considerando como factor principal el tiempo de almacenamiento, con cuatro niveles correspondientes a los años de cosecha: 2021 (T1), 2022 (T2), 2023 (T3) y 2024 (T4). Se establecieron 4 repeticiones por tratamiento, lo que resultó en un total de 16 unidades experimentales.

3.3.6.1 Modelo lineal del diseño:

Diseño completamente al azar (DCA)

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

- μ = Efecto común a todas las observaciones

- T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento, $i = 1, 2, \dots, t$ tratamientos
- $E_{ij} \sim N(\mu, \sigma^2)$ y de forma independiente

3.3.7 Procedimiento Experimental

Tabla 3

Descripción de los tratamientos

T1	T2	T3	T4
T2	T1	T4	T3
T3	T2	T1	T4
T4	T3	T2	T1

Fuente: elaboración propia

T1= semilla guardada del año 2021

T2= semilla guardada del año 2022

T3= semilla guardada del año 2023

T4= semilla guardada del año 2024

3.3.7.2 Tamaño de la unidad experimental

100 semillas por bandeja, con 4 repeticiones por año

3.3.7.3 Pruebas de significancia

Análisis de varianza (ANOVA) para comparar los efectos del tiempo de almacenamiento.

3.3.8 Variables de respuestas

- **Porcentaje de humedad:** El contenido de humedad de las muestras se determinó a través de un método indirecto con un determinador de humedad DICKY-JOHN.
- **Porcentaje de germinación (%):** Número de semillas germinadas en relación con el total de semillas sembradas, expresado en porcentaje.
- **Índice de velocidad de germinación (semillas germinadas / días):** Estimación de la rapidez con la que germinan las semillas, calculado mediante fórmulas específicas.
- **Longitud de la radícula (cm):** Medida del desarrollo de la raíz principal de las plántulas.
- **Longitud del Epicotilo (cm):** Se mide desde la base del tallo, en la zona de unión con la radícula, hasta el punto donde se insertan las primeras hojas
- **Presencia de patógenos:** Identificación de hongos, bacterias u otros microorganismos que puedan afectar la salud de las semillas y las plántulas.
- **Vigor de las plántulas:** Evaluación del crecimiento y desarrollo inicial de las plántulas, considerando parámetros como desarrollo radicular, desarrollo de la del epicotilo y coloración foliar.

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSION

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se evaluó la viabilidad, el vigor y la germinación de semillas de arveja almacenadas del 2021 al 2024. Los análisis de humedad, velocidad de germinación y desarrollo morfológico revelaron cambios fisiológicos a lo largo del tiempo. Los resultados indicaron una alta viabilidad de las semillas, así como diferencias significativas en su crecimiento. Cabe destacar que las semillas fueron almacenadas en condiciones ambientales propias del laboratorio, sin un control específico sobre las variables de almacenamiento.

ESPECIE: *Pisum sativum* L.

NOMBRE LATÍN: Arveja

VARIEDAD: Arvejón Yesera

SEMILLERA: Elvira Aparicio

ORIGEN: Sivingal

CATEGORÍA: Registrada

4.1 PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LOS DIFERENTES AÑOS ALMACENADAS (%)

La humedad de las semillas es un factor determinante para su conservación a largo plazo. Un bajo contenido de humedad es esencial para asegurar la viabilidad de las semillas durante el almacenamiento prolongado. Además, niveles reducidos de humedad aumentan la dureza de las semillas, actuando como una barrera natural contra plagas de insectos. Por lo tanto, controlar y mantener niveles bajos de humedad se considera una estrategia fundamental para la protección de las semillas durante su almacenamiento.

Tabla 4
Porcentaje de humedad

REPETICIONES	AÑO DE ALMACENAMIENTO			
	T1 (2021)	T2 (2022)	T3 (2023)	T4 (2024)
R₁	9.9	9.9	9.9	9.4
R₂	10	9.7	9.9	9.6
SUMATORIA	19.9	19.6	19.8	19
MEDIA	9.95	9.8	9.9	9.5

Fuente: elaboración propia

Tabla 5
Análisis de varianza (ANOVA) de porcentaje de humedad

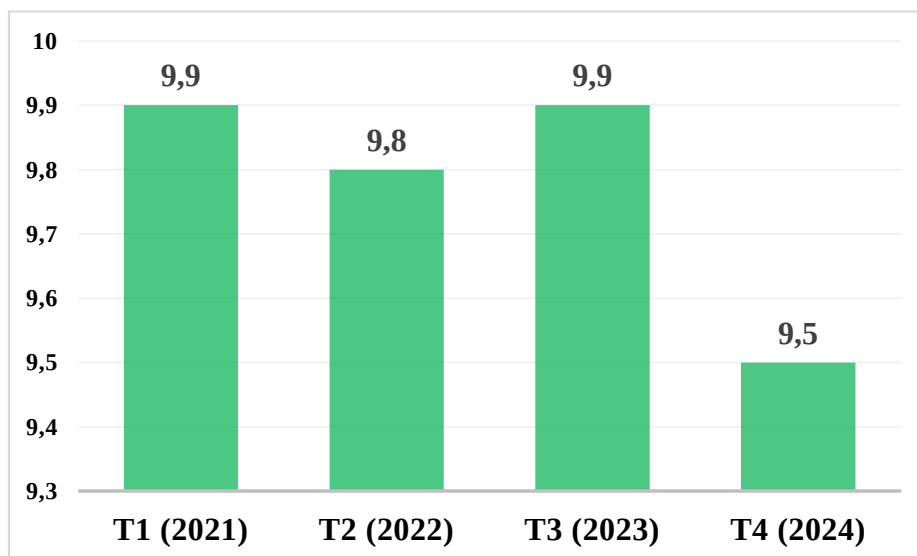
F.V.	gl	SC	CM	Fc	Ft 5%
Tto.	3	0.19	0.06	5.48	6.59
Error	4	0.05	0.01		
Total	7	0.24			

Fuente: elaboración propia

La estabilidad en el contenido de humedad entre los tratamientos se confirma mediante el análisis estadístico (ANOVA), el cual indica que no existen diferencias significativas ($F_c = 5.48 < F_t = 6.59$; $\alpha = 0.05$). Por tanto, las pequeñas variaciones observadas se consideran como fluctuaciones normales sin impacto fisiológico relevante

A pesar de que las semillas almacenadas en 2024 presentaron menor humedad (9.5 %) en comparación con las de 2021 (9.95 %), la diferencia no fue estadísticamente significativa.

Figura 2
Porcentaje de humedad



Fuente: elaboración propia

La figura muestra que el mayor porcentaje de humedad se registró en las semillas almacenadas en 2021 (9.95 %), seguido por 2023 (9.90 %) y 2022 (9.80 %). El valor más bajo se observó en 2024 (9.50 %).

4.2 PRUEBA DE VIABILIDAD DE TETRAZOLIO

Tabla 6

Prueba de viabilidad

AÑO	Número de Semillas	Semillas Viab. (%)	Semillas No Viab. (%)
T1 (2021)	50	90	10
T2 (2022)	50	96	4
T3 (2023)	50	96	4
T4 (2024)	50	94	6

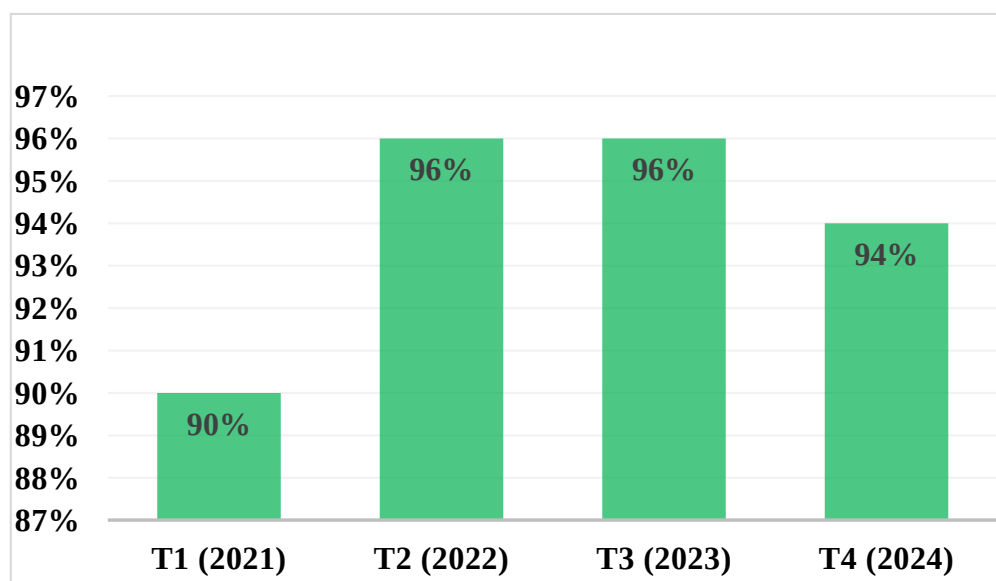
Fuente: elaboración propia

La prueba de tetrazolio mostró alta viabilidad en todas las muestras evaluadas, con valores de 90% a 96%. Las semillas de 2022 y 2023 presentaron la mayor actividad enzimática, lo que indica un óptimo estado fisiológico. En contraste, el leve descenso en 2021 sugiere un deterioro progresivo por envejecimiento.

Según Copeland y McDonald (1995), el tetrazolio es una técnica eficaz para detectar la viabilidad de las semillas, ya que tiñe los tejidos vivos al reaccionar con la deshidrogenasa del embrión. En este estudio, los altos porcentajes de viabilidad concuerdan con lo señalado por estos autores, demostrando que las semillas, aun con años de almacenamiento, conservaron su funcionalidad fisiológica cuando fueron almacenadas en condiciones adecuada

Figura 3

Prueba de viabilidad de tetrazolio



Fuente: elaboración propia

La Figura 3 muestra altos niveles de viabilidad en todas las semillas evaluadas, con porcentajes entre 90% (T1, 2021) y 96% (T2 y T3, 2022 y 2023). Estos resultados indican una buena conservación fisiológica, especialmente en los años intermedios. El menor valor en T1 podría deberse al envejecimiento por mayor tiempo de almacenamiento.

Los resultados coinciden con la prueba de germinación y confirman que las semillas conservaron su funcionalidad durante los cuatro años evaluados. Como señalan Copeland y McDonald (1995), la viabilidad determinada por tetrazolio refleja

tejidos metabólicamente activos, aunque no siempre asegure una germinación vigorosa

4.3 ANÁLISIS FISIOLÓGICO

4.3.1 PORCENTAJE DE GERMINACIÓN (%)

Uno de los parámetros que define en gran medida la calidad de las semillas es su porcentaje de germinación, ya que un porcentaje ideal garantiza una adecuada población de plantas. Para evaluar este aspecto, se realizó un análisis de germinación con el objetivo de determinar el número máximo de semillas que pueden germinar bajo condiciones óptimas de luz, humedad y temperatura.

Para el estudio, se tomaron al azar 100 semillas con cuatro repeticiones (bandejas) y se utilizaron como sustrato arena, asegurando condiciones óptimas para la germinación y minimizando el riesgo de contaminación por hongos. El porcentaje promedio de germinación se calculó como la media de las cuatro réplicas, redondeada al número entero más cercano.

Con los datos obtenidos, se determinó el porcentaje de germinación y, a partir de los resultados, se clasificaron las semillas en cuatro categorías de calidad: excelente, muy buena, buena y mala.

Tabla 7

Calidad de semilla

CALIDAD	Buena	Muy Buena	Excelente
GERMINACIÓN	80-85	86-95	96-100

Fuente: (Casini, 1997).

Tabla 8**Porcentaje de germinación**

PORCENTAJE DE GERMINACIÓN				
REPETICIONES	AÑO			
	T1 (2021)	T2 (2022)	T3 (2023)	T4 (2024)
R1	86	97	95	94
R2	90	97	93	95
R3	93	100	97	96
R4	96	97	97	93
SUMATORIA	365	391	382	378
MEDIA	91.3	97.8	95.5	94.5

Fuente: elaboración propia

Tabla 9**Análisis de varianza (ANOVA) de porcentaje de germinación**

F.V.	gl	SC	CM	Fc	Ft 5%
Tto.	3	87.5	29.17	4.52	3.49
Error	12	77.50	6.46		
Total	15	165			

Fuente: elaboración propia

El análisis de varianza (tabla 9) mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en el porcentaje de germinación de semillas de arveja, con un valor de $F_c = 4.52$ superior al valor crítico $F_t = 3.49$ al 5% de significancia. Esto indica que al menos uno de los tratamientos evaluados presentó un comportamiento significativamente distinto respecto a los demás.

Tabla 10**Resultado de la prueba de comparación de medias (tukey)**

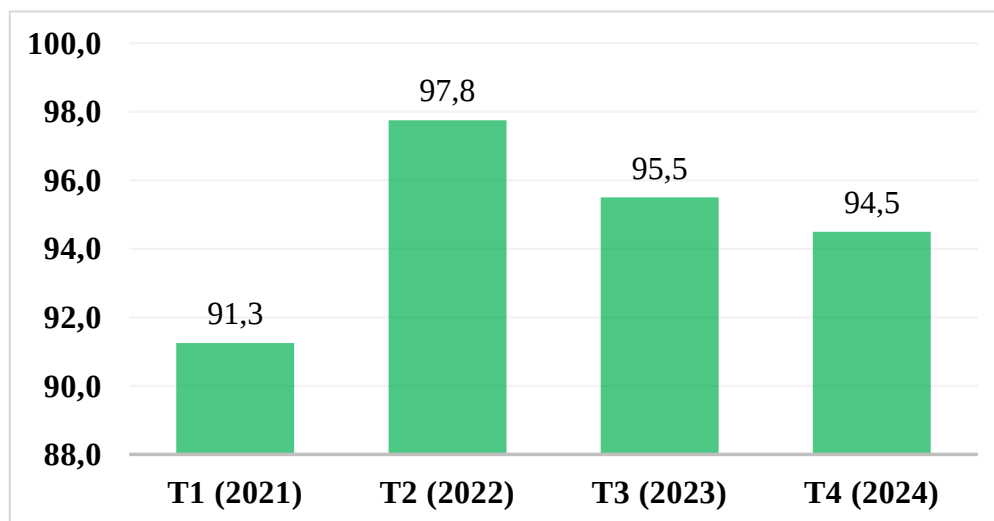
TRATAMIENTO	MEDIA	REPRESENTACIÓN
T1 (2021)	91.3	B
T2 (2022)	97.8	A
T3 (2023)	95.5	AB
T4 (2024)	94.5	B

Fuente: elaboración propia

La prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 10) permitió establecer que el tratamiento T2 (año 2022) obtuvo la mayor media de germinación (97.8%) y fue estadísticamente diferente del tratamiento T1 (año 2021), que presentó la media más baja (91.3%). Por su parte, los tratamientos T3 (2023) y T4 (2024), con medias de 95.5% y 94.5% respectivamente, no mostraron diferencias significativas con los demás tratamientos, ubicándose en un grupo intermedio (letras AB y B).

De acuerdo con las Normas Internacionales de Prueba de Semillas (ISTA, 2023), un lote es considerado viable cuando el porcentaje de germinación es igual o superior al 85%. En este estudio, todos los tratamientos superaron ampliamente dicho valor, lo que demuestra que las semillas conservaron una alta calidad fisiológica a lo largo de los cuatro años de almacenamiento. No obstante, se observó una leve disminución en T1 (2021).

Figura 4
porcentaje de germinación



Fuente: elaboración propia

La Figura 4 muestra altos porcentajes de germinación en todos los tratamientos, superando el 85% establecido por ISTA (2023). El mayor valor fue T2 (2022) con 97.8% y el menor T1 (2021) con 91.3%, lo que sugiere una leve pérdida de vigor por el tiempo de almacenamiento. T3 (2023) y T4 (2024) presentaron valores intermedios, reflejando buena estabilidad germinativa

4.3.2 INDICE DE VELOCIDAD DE GERMINACION (SG/días)

Tabla 11

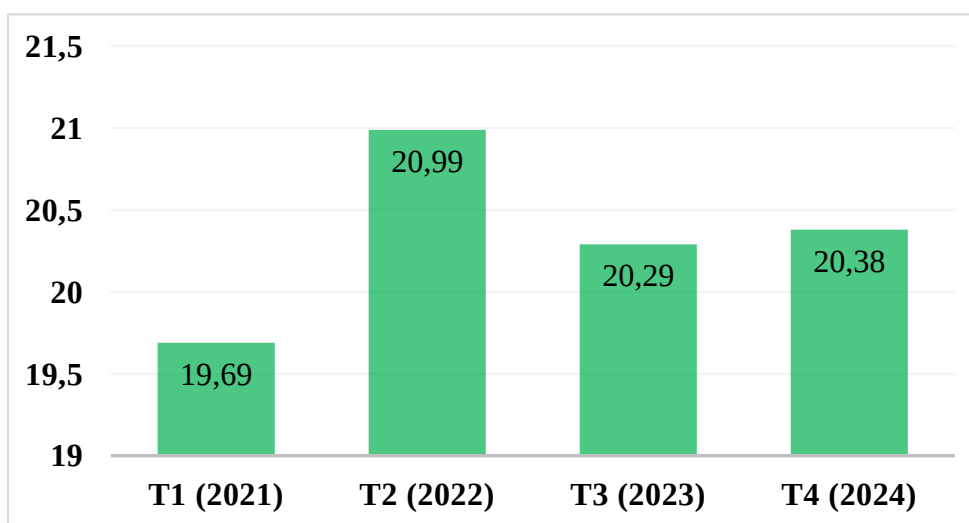
Índice de velocidad de germinación (Semillas germinadas / días)

VELOCIDAD DE GERMINACIÓN (VG)				
DIA	SEMILLAS GERMINADAS			
	T1 (2021)	T2 (2022)	T3 (2023)	T4 (2024)
2	0	0	0	0
4	54.5	57.8	55.3	57.3
6	35.3	37	36.3	33.5
8	1.5	3	3.3	3.8
VG (SG/días)	19.69	20.99	20.29	20.38

Fuente: elaboración propia

La evaluación de la velocidad de germinación (VG) de semillas de arveja (2021-2024) mostró variaciones significativas por efecto del almacenamiento. Del 2021, la VG fue la más baja (19.69 SG/días), mientras que del 2022 alcanzó su máximo (20.99 SG/días), indicando una mejor eficiencia germinativa. del 2023 y 2024, la VG se estabilizó en 20.29 y 20.38 SG/días, respectivamente, sugiriendo una conservación óptima sin mayores mejoras. La mayor germinación se observó el día 4 de todos los años, con el valor más alto del 2022 (57.8%)

Figura 5
índice de velocidad de germinación



Fuente: elaboración propia

La velocidad de germinación varió según el año de almacenamiento. El mayor índice se registró en 2022 (20.99 SG/días), indicando mejor calidad fisiológica. En 2021 fue el más bajo (19.69 SG/días), lo que sugiere deterioro por el almacenamiento. En 2023 y 2024 los valores se estabilizaron (20.29 y 20.38 SG/días). La mayor germinación ocurrió en el día 4 en todos los tratamientos, destacando el 2022 con 57.8%.

4.3.3 LONGITUD DE EPICOTILO (cm)

Tabla 12

Longitud de epicotilo (cm)

LONGITUD DE EPICOTILO (cm)					
REPETICIONES	AÑO				
	T1 (2021)	T2 (2022)	T3 (2023)	T4 (2024)	
R1	6.1	9.2	6.5	7.1	
R2	7.1	8.6	6.3	6.9	
R3	8.1	9.3	7.5	9.1	
R4	9.5	9.5	7.2	6.1	Gran total
Sumatoria	30.8	36.6	27.5	29.2	124.1
Media	7.7	9.2	6.9	7.3	

Fuente: elaboración propia

Tabla 13

Análisis de varianza (ANOVA) de longitud de epicotilo

F.V.	gl	SC	CM	Fc	Ft 5%
Trata.	3	11.72	3.91	3.72	3.49
Error	12	12.62	1.05		
Total	15	24.34			

Fuente: elaboración propia

Analizando el cuadro, el valor estadístico F calculado ($F_c = 3.72$) es mayor que el valor crítico de Ft a un 5% de significancia ($F_t = 3.49$). Esto indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

Tabla 14

Resultado de la prueba de comparación de medias (TUKEY) para la variable epicotilo

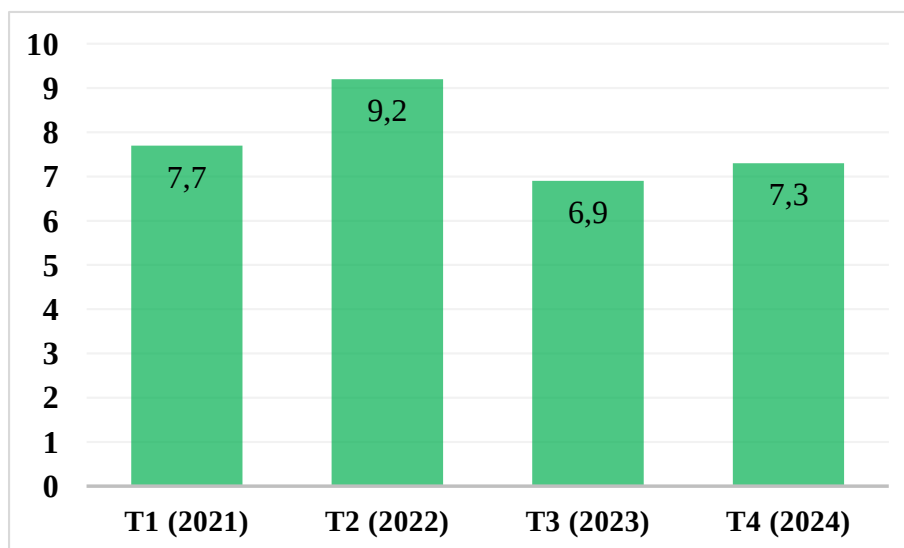
TRATAMIENTO	MEDIA	REPRESENTACIÓN
T1 (2021)	7.7	AB
T2 (2022)	9.2	A
T3 (2023)	6.9	B
T4 (2024)	7.3	AB

Fuente: elaboración propia

La tabla muestra que el tratamiento T2 (2022) tiene una media significativamente mayor en la longitud del epicótilo en comparación con el tratamiento T3 (2023). Los tratamientos T1 (2021) y T4 (2024) no muestran diferencias significativas con respecto a T2 (2022) o T3 (2023).

Figura 6

Longitud de epicotilo



Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la interpretación gráfica, el tratamiento T2 (2022) presentó la mayor media de longitud de epicótilo (9.2), lo que indica un mejor desarrollo en comparación

con los demás años evaluados. Por otro lado, T3 (2023) registró la menor media (6.9), evidenciando un menor crecimiento.

4.3.4 LONGITUD DE RAIZ (cm)

Tabla 15

Longitud de raíz (cm)

LONGITUD DE RAIZ (cm)				
REPITICIONES	AÑO			
	T1 (2021)	T2 (2022)	T3 (2023)	T4 (2024)
R1	11.4	16.5	12.7	11.2
R2	10.6	16.2	13.9	14.7
R3	10.5	16.9	13.3	14.6
R4	12.5	15.8	13.9	11.6
Sumatoria	45	65.4	53.8	52.1
Media	11.25	16.35	13.45	13.025

Gran total

216.3

Fuente: elaboración propia

Tabla 16

Análisis de varianza (ANOVA) de longitud de raíz

F. V.	g.l.	SC	CM	Fc	Ft 5%
Trata.	3	53.65	17.88	14.44	3.49
Error	12	14.86	1.24		
Total	15	68.50			

Fuente: elaboración propia

Analizando el cuadro, indica que existe diferencias significativo de los tratamientos sobre la longitud de raíz, ya que el valor de F calculado ($F_c = 14.44$) es mayor que el valor crítico de Ft a un 5% de significancia ($F_t = 3.49$).

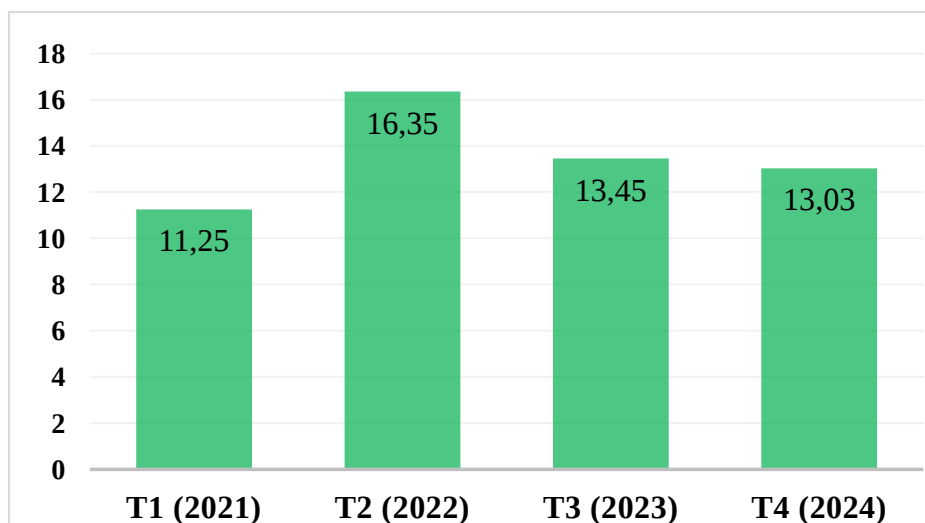
Esto confirma que al menos un tratamiento presenta diferencias significativas con respecto a los demás, lo que justifica el uso de una prueba de comparación de medias.

Tabla 17**Resultado de la prueba de comparación de medias (TUKEY) para variable raíz**

TRATAMIENTO	MEDIA	REPRESENTACIÓN
T1 (2021)	11.25	B
T2 (2022)	16.35	A
T3 (2023)	13.45	B
T4 (2024)	13.03	B

Fuente: elaboración propia

La prueba de comparación de medias (Tukey) confirma que el tratamiento T2 (2022) se diferencia significativamente del resto y pertenece a un grupo estadístico distinto (A). Por otro lado, los tratamientos T1 (2021), T3 (2023) y T4 (2024) forman un mismo grupo (B), lo que indica que sus medias no presentan diferencias significativas entre sí.

Figura 7**Longitud de raíz**

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la interpretación gráfica, el tratamiento T2 (2022) presentó la mayor media de longitud de raíz (16.35 cm), lo que indica un mejor desarrollo radicular en comparación con los demás años evaluados. En contraste, T1 (2021) registró la menor longitud de raíz (11.25 cm), lo que sugiere un crecimiento menos favorable.

4.3.5 PRESENCIA DE PATÓGENOS

Identificación de hongos, bacterias u otros microorganismos que puedan afectar la salud de las semillas y las plántulas.

Tabla 18

Evaluación de presencia de patógenos en la semilla

EVALUACIÓN DE PRESENCIA DE PATÓGENOS EN SEMILLAS DE ARVEJA					
Año de Almacenamiento	Repetición	Presencia de Patógenos (Sí/No)	Tipo de Patógeno (Si aplica)	Porcentaje de Afectación (%)	Observaciones
2021	R1	No	-	0%	Buen estado de semilla
	R2	No	-	0%	Buen estado de semilla
	R3	No	-	0%	Buen estado de semilla
	R4	No	-	0%	Buen estado de semilla
2022	R1	No	-	0%	Buen estado de semilla
	R2	No	-	0%	Buen estado de semilla
	R3	No	-	0%	Buen estado de semilla
	R4	No	-	0%	Buen estado de semilla
2023	R1	No	-	0%	Buen estado de semilla
	R2	No	-	0%	Buen estado de semilla
	R3	No	-	0%	Buen estado de semilla
	R4	No	-	0%	Buen estado de semilla
2024	R1	No	-	0%	Buen estado de semilla
	R2	No	-	0%	Buen estado de semilla
	R3	No	-	0%	Buen estado de semilla
	R4	No	-	0%	Buen estado de semilla

Fuente: elaboracion propia

La tabla muestra el análisis fitosanitario de semillas de arveja entre 2021 y 2024, evaluando la presencia o ausencia de patógenos en cuatro repeticiones por año. Se registró si las semillas presentaban infecciones fúngicas o bacterianas, identificando el tipo de patógeno y el porcentaje de afectación en caso de detección.

Los resultados indican que todas las semillas analizadas en los distintos años se encuentran en buen estado, sin presencia de patógenos visibles.

4.3.6 VIGOR DE LAS PLÁNTULAS

El vigor de las semillas es un parámetro clave para evaluar su calidad fisiológica y su capacidad para germinar y desarrollar plántulas fuertes bajo diversas condiciones ambientales. En este estudio, el vigor fue determinado mediante dos indicadores principales: la longitud del epicótilo y la longitud de la radícula. Estos valores reflejan la capacidad de las plántulas para desarrollar estructuras esenciales que influyen en su establecimiento y crecimiento en campo.

Se evaluó el vigor de las plántulas mediante una combinación de criterios morfológicos y fisiológicos, siguiendo las directrices del ISTA (2021). Se consideraron los siguientes parámetros:

Coloración: Se analizó la intensidad del color verde en las plántulas, observándose que el 85% de las plántulas provenientes de semillas de 2022 presentaron coloración uniforme, mientras que solo el 70% de las plántulas de 2021 mantuvieron esta característica.

Longitud de epicótilo y radícula: Se midieron estos parámetros como indicadores del vigor de las plántulas. En semillas del en 2022, el epicótilo alcanzó en promedio 9.2 cm y la radícula 16.35 cm. En semillas almacenadas en 2021, estos valores disminuyeron a 7.3 cm y 11.25 cm respectivamente.

Los resultados mostraron que las semillas almacenadas en 2022 presentaron los valores más altos en ambos indicadores, lo que sugiere un mejor estado fisiológico y menor deterioro. En contraste, las semillas de 2023 y 2024 presentaron una ligera reducción en la longitud de epicótilo y radícula

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se evidenció una variación en la calidad fisiológica de las semillas de arveja según el tiempo transcurrido desde su cosecha. Las semillas del año 2022 destacaron por su mayor desarrollo de raíz (16.35 cm) y epicótilo (9.2 cm), indicando un vigor superior. En cambio, las semillas más antiguas, del año 2021, presentaron menor desarrollo (11.25 cm de raíz y 7.3 cm de epicótilo), reflejando un deterioro fisiológico progresivo. Estos resultados, respaldados por análisis estadísticos, demuestran que el estado fisiológico de las semillas puede mantenerse en buenas condiciones por un tiempo, pero con el paso de los años disminuye su capacidad de crecimiento

- Se determinó que el contenido de humedad de las semillas de arveja almacenadas del 2021 al 2024 se mantuvo dentro del rango óptimo recomendado por ISTA, con valores de 9.95% (2021), 9.8% (2022), 9.9% (2023) y 9.5% (2024). Este resultado demuestra que el uso de frascos plásticos herméticos bajo condiciones ambientales del laboratorio permitió conservar adecuadamente la calidad fisiológica de las semillas

- Conforme a los estándares establecidos por ISTA, se observaron diferencias significativas en los indicadores fisiológicos del vigor entre los tratamientos. El año 2022 presentó el comportamiento más destacado, con una velocidad de germinación de 20.99 semillas germinadas por día, una longitud promedio del epicótilo de 9.2 cm ($F_c = 3.72 > F_t = 3.49$) y una raíz de 16.35 cm ($F_c = 14.44 > F_t = 3.49$). Estos valores reflejan un alto nivel de eficiencia germinativa y desarrollo inicial de plántulas, confirmando que las semillas de este periodo conservaron un vigor superior en comparación con los demás tratamientos

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda limitar el uso de semillas de arveja almacenadas por más de dos años, especialmente si han sido conservadas en condiciones ambientales no controladas, debido a la disminución observada en el vigor fisiológico. Para mantener una buena calidad de siembra, se sugiere realizar pruebas periódicas de germinación y vigor a partir del segundo año de almacenamiento, y considerar su reemplazo o tratamiento antes de la siembra si presentan signos de deterioro.
- Promover entre los agricultores la utilización preferente de semillas recientes, aunque las semillas de arveja (variedad Arvejón Yesera) mantienen porcentajes de germinación superiores al 85% bajo condiciones ambientales, el vigor y la velocidad de germinación disminuyen notablemente con el paso del tiempo, como se evidenció en los lotes del 2021 que presentaron menor velocidad de germinación (19.69 SG/día), menor longitud de raíz (11.25 cm) y menor epicótilo (8.35 cm), en comparación con semillas más recientes, lo que puede afectar negativamente la uniformidad y el desarrollo inicial del cultivo en campo.
- Se recomienda que los agricultores realicen pruebas semestrales de viabilidad (tetrazolio), germinación y vigor (longitud de raíz, epicótilo y velocidad de germinación), ya que estos análisis permiten detectar oportunamente el deterioro fisiológico de las semillas almacenadas y tomar decisiones informadas sobre su uso, regeneración o reemplazo, considerando que, aunque la germinación puede mantenerse alta, la calidad fisiológica especialmente el vigor tiende a disminuir con el tiempo, como se evidenció en los lotes más antiguos del estudio.
- Evaluar el efecto de diferentes materiales de empaque (papel, plástico, metal, vidrio) en la conservación de la calidad fisiológica de semillas de arveja (var. Arvejón Yesera) durante el almacenamiento bajo condiciones ambientales, con

el fin de identificar los envases más eficaces y accesibles para productores y bancos de semilla