

INTRODUCCION

La conservación de semillas forestales representa una estrategia esencial para preservar la biodiversidad vegetal y garantizar la disponibilidad futura de recursos genéticos fundamentales para la restauración ecológica, la investigación y el desarrollo forestal sostenible. En este contexto, los bancos de germoplasma desempeñan un papel vital al almacenar semillas de especies nativas y endémicas, muchas de ellas en riesgo debido a la deforestación, el cambio climático y el uso intensivo de los recursos naturales (FAO, 2014). Sin embargo, la efectividad de estos bancos depende en gran medida de los métodos de conservación aplicados, los cuales deben ser adecuados a la fisiología de las semillas y a las condiciones ambientales locales.

En la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, el banco de germoplasma cumple una función clave en la conservación de especies forestales regionales. No obstante, se ha identificado una deficiencia en la aplicación de métodos eficientes para garantizar la viabilidad y longevidad de las semillas almacenadas. Esta situación puede comprometer la integridad genética de las especies conservadas y limitar el éxito de futuros programas de reforestación y restauración ambiental. Por lo tanto, es prioritario evaluar y optimizar los procesos de conservación empleados, integrando técnicas actualizadas y adaptadas a las necesidades específicas de cada especie.

Esta investigación tiene como propósito Evaluar tres métodos para la conservación de la calidad de semillas forestales nativas en almacenamiento, que asegure su viabilidad y diversidad en el banco de germoplasma de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.

Evaluar el método a corto plazo para la conservación de semillas forestales en almacenamiento, que asegure su viabilidad en el banco de germoplasma de la facultad de ciencia agrícolas y forestales. con el fin de mejorar la eficacia de almacenamiento, asegurar la viabilidad y contribuir a la sostenibilidad de los recursos genéticos forestales.

Marco Institucional

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

La Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS) es una institución pública de educación superior con autonomía académica, económica, administrativa y técnica. Tiene como misión la formación integral de profesionales con conciencia crítica, científica, técnica y ética, comprometidos con el desarrollo sostenible y la transformación de la sociedad. Su visión es ser una universidad de excelencia académica, reconocida nacional e internacionalmente por su calidad en la enseñanza, la investigación y la interacción social.

A través de sus distintas facultades, la UAJMS promueve la generación de conocimiento, la innovación tecnológica y la vinculación con el entorno productivo y social. En este contexto, la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales (FCAyF) representa un pilar estratégico en el fortalecimiento del sector agroforestal en el departamento de Tarija y regiones aledañas. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, 2023.

Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales

La FCAyF es una unidad académica de la UAJMS orientada a la formación de profesionales en áreas relacionadas con la agronomía, la ingeniería forestal, el medio ambiente y la agroindustria. Su labor se basa en principios de sostenibilidad, innovación tecnológica, conservación de los recursos naturales y fortalecimiento de las capacidades locales.

La Facultad promueve activamente la investigación aplicada, la producción sostenible y la conservación de la biodiversidad, a través de unidades especializadas como el Centro Especializado Agroforestal en Producción de Plantas (CEAFOR-PP) y el Laboratorio de Semillas FCA y F-UAJMS, espacios fundamentales para el desarrollo técnico y científico de los estudiantes, docentes e investigadores. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, UAJMS, 2023

El Laboratorio de Semillas es una unidad técnica de apoyo a la docencia, investigación y vinculación comunitaria. Tiene como finalidad principal proporcionar infraestructura y equipamiento especializado para realizar prácticas académicas, investigaciones y prestación de servicios externos.

- **Objetivo del Laboratorio:**

Brindar soporte técnico y científico para la formación de estudiantes mediante prácticas docentes que les permitan adquirir habilidades en métodos de investigación, consolidar conocimientos teóricos y desarrollar competencias profesionales en el manejo de semillas. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. (s. f.). Laboratorio de Semillas. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales

Servicios que presta a la población:

1.Certificación de semillas: Validación de la calidad física, fisiológica y sanitaria de semillas para garantizar su uso en procesos productivos agrícolas y forestales.

2.Asistencia técnica para la mejora de actividades productivas: Provisión de servicios especializados a empresas, instituciones y productores, con el fin de optimizar procesos productivos mediante el uso de semillas certificadas.

Principales funciones:

- Enseñanza: Impartir prácticas dirigidas a la formación técnica de estudiantes.
- Apoyo académico: Coordinar con docentes y auxiliares la implementación de actividades prácticas en asignaturas relacionadas.
- Investigación: Ejecutar proyectos en colaboración con instituciones aliadas.
- Tesis: Brindar apoyo técnico y metodológico en la elaboración de tesis y trabajos dirigidos.

Este laboratorio constituye un espacio clave para el desarrollo de competencias científicas y tecnológicas, y representa una plataforma estratégica para la ejecución del

presente trabajo de investigación, centrado en la conservación de la calidad de semillas forestales en el banco de germoplasma de la FCAyF.

Institución patrocinadora

La institución que respalda y patrocina el presente proyecto es la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales (FCAyF) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS), mediante su unidad técnica y operativa: el Centro Especializado Agroforestal en Producción de Plantas (CEAFOR-PP).

El CEAFOR-PP fue creado mediante la Resolución Rectoral N.º 142/2022 de fecha 31 de marzo de 2022, como una respuesta a la urgente necesidad de establecer un Banco de Germoplasma Vegetal en la cuenca del río Tarija, con el fin de garantizar la disponibilidad de material vegetal de alta calidad genética, incluyendo plantas y semillas forestales. Este centro tiene la finalidad de ofrecer servicios de asesoramiento técnico, capacitación, asistencia en investigación y producción especializada para el fortalecimiento del sector agroforestal en la región.

Entre sus objetivos generales se encuentra la promoción de la investigación, innovación tecnológica y el mejoramiento en la producción de plantas y semillas forestales. Asimismo, fomenta la implementación de un Banco de Germoplasma y la interacción entre actores técnicos y académicos mediante procesos de capacitación, plantación y manejo de semillas.

El CEAFOR-PP se estructura en dos áreas fundamentales:

- Área de Producción Agroforestal, enfocada en la multiplicación de material vegetal.
- Área de Análisis de Calidad de Semillas, dedicada a asegurar la viabilidad, pureza y sanidad de los recursos genéticos conservados y producidos.

Cuenta con infraestructura clave como el Laboratorio de Semillas FCAyF – UAJMS y el Vivero de Producción CEAFOR, ubicado en la comunidad de Chocloca, en el municipio de El Puente, provincia Méndez del departamento de Tarija.

La coordinación operativa del CEAFOR-PP se realiza en estrecha vinculación con las carreras de Ingeniería Forestal, Agronomía y Medio Ambiente, promoviendo sinergias entre la academia, la investigación y la producción vegetal especializada.

Actualmente, el CEAFOR-PP implementa el programa “Producción de Plantas a la Demanda”, orientado a atender requerimientos de especies nativas y exóticas para la reforestación, restauración de ecosistemas y otros fines productivos, adaptado a las necesidades del entorno regional.

Gracias a este respaldo institucional, el presente proyecto se enmarca en un contexto técnico-científico que garantiza viabilidad operativa, recursos físicos y humanos especializados, y un enfoque integral de sostenibilidad en la conservación y mejoramiento de semillas forestales. CEAFOR-PP, 2025

Planteamiento del problema y/o necesidad

La conservación adecuada de semillas forestales es un componente esencial para la protección de la diversidad genética y el éxito de los programas de reforestación y restauración ambiental. En la actualidad, la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales (FCAyF) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho no cuenta con un banco de germoplasma formalmente establecido que permita almacenar, preservar y garantizar la viabilidad de semillas de especies forestales de manera sistemática y técnicamente validada. Esta carencia impide asegurar la disponibilidad de material genético de calidad para futuras acciones de recuperación de ecosistemas, investigación científica y producción forestal sostenible. CEAFOR-PP, 2025

El problema se agrava ante la falta de evaluación previa de métodos de conservación accesibles, como el almacenamiento en frascos herméticos y al vacío, cuya eficacia para mantener la viabilidad y calidad de las semillas en el corto plazo no ha sido aún comprobada en condiciones locales. Asimismo, no se ha realizado una caracterización técnica del material vegetal disponible ni una verificación de las condiciones físicas,

sanitarias y reproductivas, lo cual es indispensable para asegurar la calidad de las semillas.

Frente a esta situación, se vuelve urgente desarrollar una propuesta técnica que, en base a la evaluación experimental de métodos de conservación como el uso de frascos herméticos y almacenamiento al vacío, sienta las bases para la implementación futura de un banco de germoplasma en la FCyF. Esta propuesta debe incluir la evaluación de la calidad del material vegetal disponible, pruebas de viabilidad en laboratorio y la valoración del conocimiento existente, con el fin de fortalecer las capacidades institucionales en la preservación de semillas forestales de alto valor ecológico y productivo.

Alcance del estudio

El presente estudio se desarrolló en el Laboratorio de Semillas de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la UAJMS, utilizando semillas de cuatro especies forestales que fueron obtenidas del Centro Especializado Agroforestal en Producción de Plantas (CEAFOR-PP), entidad que proporcionó el material vegetal para la investigación. El enfoque se limita a la conservación de semillas mediante tres métodos: almacenamiento en frascos herméticos, al vacío y en bolsa de papel a temperatura ambiente.

El alcance temporal comprende un periodo de seis meses, desde junio hasta noviembre de 2025, durante el cual se evaluaron los efectos del almacenamiento sobre la calidad fisiológica y física de las semillas. Este periodo permite realizar una valoración a corto plazo, adecuada para observar cambios iniciales en la viabilidad, germinación, sanidad y pureza, sin comprometer la integridad genética del material evaluado. CEAFOR-PP, 2025.

OBJETIVOS

General:

Evaluar el efecto de la viabilidad y calidad de semillas de cuatro especies forestales, Tara (*Caesalpinia Spinosa* (Molina) Kuntze.), Jarca (*Acacia visco* Lorentz ex Griseb.), Algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.) y Molle (*Schinus molle* L). expuestas a tres métodos de almacenamiento, en el banco de germoplasma de la Facultad de Ciencia Agrícolas y Forestales de Tarija.

Objetivo específico

- Determinar parámetros de calidad, mediante pruebas de contenido de humedad inicial y final de las semillas perteneciente a cuatro especies forestales, y establecer su relación con la pérdida de viabilidad durante el almacenamiento.
- Evaluar el efecto de tres métodos de conservación (frasco hermético, almacenamiento al vacío y en bolsa de papel a temperatura ambiente) sobre el porcentaje de germinación, el índice de velocidad de germinación y la energía germinativa de las semillas.
- Comparar la efectividad de los métodos de almacenamiento para mantener la calidad fisiológica de las semillas en condiciones de laboratorio, utilizando análisis estadísticos.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

En Bolivia, los bancos de germoplasma constituyen una herramienta estratégica para conservar la diversidad genética forestal del país, bajo la administración del INIAF, con más de 20.000 accesiones de recursos genéticos, incluyendo semillas forestales. Para asegurar su función, es fundamental aplicar métodos de evaluación que garanticen la viabilidad, vigor y pureza del germoplasma. (INIAF, 2025)

1.1.Semillas forestales: conceptos generales

1.1.1. Definición y clasificación de semillas

La semilla es el óvulo fecundado y maduro de plantas espermatofitas que contiene un embrión en desarrollo, tejidos nutritivos de reserva y cubiertas protectoras, capaz de germinar bajo condiciones ambientales favorables. (FAO, A Guide to Forest Seed Handling).

1.1.2Clasificación de semillas según tolerancia a la desecación y capacidad de almacenamiento

- Semillas ortodoxas: toleran una desecación a bajo contenido de humedad y pueden almacenarse a temperaturas bajas por periodos prolongados sin perder viabilidad. (Farrant, Berjak Pammenter, 1993).
- Semillas intermedias: tienen tolerancia moderada a la desecación; pueden soportar cierta pérdida de humedad, pero no tanto como las ortodoxas, y su almacenamiento requiere condiciones menos extremas. (Farrant et al., 1993)
- Semillas recalcitrantes: no soportan desecación ni bajas temperaturas; al perder humedad por debajo de cierto umbral o al exponerse al frío extremo pierden viabilidad rápidamente. (FAO; Farrant et al., 1993).

1.1.3. Importancia ecológica y económica de las semillas forestales

Las semillas forestales tienen una importancia ecológica fundamental, pues son el mecanismo principal de regeneración natural de los bosques; permiten la recuperación después de disturbios, la colonización de hábitats nuevos o degradados, y mantienen la diversidad genética necesaria para la adaptación al cambio climático. (Beck & Schleuning, 2018).

En el ámbito económico, las semillas forestales son fuente de especies maderables y no maderables apreciadas por su uso en la construcción, carpintería, producción de muebles, y artesanías, así como por productos de valor como resinas, aceites esenciales, frutos, y plantas medicinales. (Flores-Bendezú, 2002).

También, los bancos de germoplasma y programas de recolección de semillas forestales aportan al desarrollo sostenible, generando empleo local, fomentando actividades de restauración y mejorando la seguridad ecológica al asegurar material vegetal de calidad para reforestación y recuperación de ecosistemas. (SERFOR, 2025).

1.1.4 Características morfológicas y fisiológicas relevantes

Las semillas forestales presentan variaciones en tamaño (longitud, ancho, grosor), forma (elíptica, reniforme, redonda, alargada), color de la testa, textura superficial y peso fresco o seco; estos rasgos morfológicos están ligados al potencial de dispersión, almacenamiento y vigor posterior. (Aspidosperma pyrifolium Study, 2019).

Aspectos como contenido de humedad, viabilidad, vigor, reserva nutritiva (lípidos, carbohidratos, proteínas) y tipo de dormancia, junto con la capacidad de germinación bajo condiciones controladas, son fundamentales para determinar la calidad de las semillas y su aptitud para conservación y uso en restauración. (Magnolia zenii Cheng Study, 2021).

1.2. Calidad fisiológica de las semillas

1.2.1. Conceptos de calidad fisiológicas

La calidad fisiológica de las semillas se define como la capacidad de una semilla para germinar y producir plántulas vigorosas bajo condiciones ambientales favorables. Esta capacidad está determinada por factores como la viabilidad, el vigor, la uniformidad en la germinación y la reserva nutritiva, los cuales aseguran el éxito en la regeneración y establecimiento de las plantas. (Copeland McDonald, 2001).

1.2.2 Fisiología de las semillas

La fisiología de la semilla se ocupa del estudio de los procesos biológicos que determinan su formación, maduración, dormancia, germinación y capacidad de producir una nueva planta. Analiza cómo las semillas mantienen su viabilidad, qué factores influyen en su vigor y qué condiciones son necesarias para que puedan germinar de manera exitosa. Este conocimiento es esencial para la conservación de especies forestales y agrícolas, ya que permite diseñar métodos adecuados de almacenamiento y manejo en bancos de germoplasma, asegurando la preservación de la diversidad genética y la producción sostenible (Copeland McDonald, 2001).

1.2.3. Componentes de la calidad fisiológicas de la semilla

La calidad fisiológica de la semilla se refiere a la capacidad que esta posee para expresar todo su potencial de germinación y desarrollo bajo condiciones óptimas de manejo. Esta característica incorporar aspectos como la viabilidad, el vigor y la capacidad de emerger y establecer plántulas en buen estado sanitario, dependen de factores internos (genéticos y fisiológicos) y externos (ambientales y de manejo) que inciden desde la formación de la semilla hasta su almacenamiento y utilización (Carvalho Nakagawa, 2012).

1.2.4. Viabilidad

La viabilidad de las semillas se define como la capacidad que tiene una semilla, no durmiente, para germinar y originar plántulas normales bajo condiciones ambientales favorables. Este concepto refleja el estado fisiológico de los tejidos embrionarios y su

potencial para iniciar el proceso de germinación. La evaluación de la viabilidad puede realizarse mediante ensayos de germinación, pruebas con tetrazolio o radiografía con rayos x, siendo la capacidad germinativa un reflejo directo del grado de viabilidad del lote de semillas (Pérez García Pita Villamil, 2001).

1.2.5. Vigor

El vigor de un lote de semillas se entiende como el conjunto de propiedades que determinan el nivel de actividad y la capacidad de las semillas durante la germinación y la emergencia de las plántulas. Este atributo está influenciado por factores como la constitución genética, las condiciones ambientales y nutricionales de la planta madre, el grado de madurez, el tamaño, la integridad mecánica y el nivel de deterioro o envejecimiento. Las semillas de alto vigor son aquellas que producen plántulas normales, con crecimiento uniforme y buen desarrollo, lo que garantiza un establecimiento más exitoso en campo (Pérez García Pita Villamil, 2001).

1.2.6. Capacidad germinativa

La capacidad germinativa se define como el porcentaje de semillas que logran germinar en un lote bajo condiciones favorables de humedad, temperatura, oxígeno y luz, reflejando el potencial fisiológico de las semillas para producir plántulas normales. Este parámetro constituye un indicador fundamental de la calidad fisiológica de las semillas, ya que determina su viabilidad y desempeño en procesos de propagación o conservación. La capacidad germinativa representa el porcentaje de semillas que germinan en un período de prueba establecido bajo condiciones controladas de laboratorio, proporcionando una medida precisa del vigor y la viabilidad del lote (ISTA, 2023).

1.2.7. Sanidad

La sanidad de la semilla se refiere al estado fitosanitario del material de propagación, determinado por la presencia o ausencia de organismos patógenos como hongos, bacterias, virus o insectos que puedan afectar la germinación, el vigor o el desarrollo de las plántulas. Este atributo constituye un componente esencial de la calidad de la

semilla, ya que la contaminación por agentes patogénicos puede reducir su viabilidad y comprometer el éxito de los programas de reforestación o producción agrícola. La evaluación de la sanidad de las semillas permite detectar e identificar organismos causantes de enfermedades, con el objetivo de prevenir su diseminación y garantizar la producción de plantas sanas. (ISTA, 2023).

1.3. Factores que afectan la calidad fisiológica

1.3.1. Genéticos

Los factores genéticos influyen directamente en la calidad fisiológica de las semillas, ya que determinan su potencial de germinación, vigor, longevidad y capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales. La herencia genética controla características esenciales como el tamaño, la forma, el contenido de reservas y la resistencia a enfermedades, las cuales inciden en el desempeño de la semilla durante la germinación y el establecimiento de la plántula. La calidad fisiológica de una semilla está estrechamente relacionada con su constitución genética, la cual define la expresión de enzimas y proteínas que regulan los procesos metabólicos involucrados en la germinación y el desarrollo temprano de las plantas. Según Bewley, Bradford, Hilhorst y Nonogaki (2013).

1.3.2. Ambientales

Los factores ambientales comprenden las condiciones externas que afectan directamente la viabilidad y el vigor de las semillas, tales como la temperatura, la humedad relativa, la disponibilidad de oxígeno y la luz. Estas variables determinan la velocidad de deterioro y la capacidad germinativa, ya que valores inadecuados pueden acelerar la desnaturalización de proteínas o la acumulación de metabolitos tóxicos en los tejidos embrionarios. Un ambiente controlado y estable durante la maduración, almacenamiento y germinación contribuye a prolongar la vida útil de las semillas y mantener su potencial fisiológico (Pérez García Pita Villamil, 2001).

1.3.3. Fisiológicos

Los factores fisiológicos se relacionan con el estado interno de la semilla, especialmente con la integridad del embrión y la funcionalidad de sus tejidos vivos. Estos factores incluyen el grado de madurez al momento de la cosecha, la actividad metabólica, el contenido de humedad interno y la capacidad de las membranas celulares para conservar su estructura y función. Una semilla fisiológicamente sana mantiene un metabolismo equilibrado y puede responder de forma eficiente a los estímulos ambientales para germinar y formar una plántula vigorosa (Pérez García Pita Villamil, 2001).

1.3.4. Mecánicos

Los factores mecánicos hacen referencia a los daños físicos que pueden sufrir las semillas durante la cosecha, el manejo o el almacenamiento. Golpes, presiones excesivas o fricciones pueden provocar fisuras en el tegumento o lesiones en el embrión, reduciendo la viabilidad y el vigor. Estas alteraciones, aunque a veces imperceptibles, facilitan la entrada de patógenos o aumentan la pérdida de humedad, acelerando el deterioro de la semilla. Por ello, es esencial aplicar prácticas de manipulación adecuadas y equipos calibrados que minimicen los daños mecánicos (Pérez García Pita Villamil, 2001).

1.4. Fisiología de la semilla

1.4.1. Estructura interna y sus funciones

La semilla es una unidad biológica fundamental para la reproducción de las plantas con semilla (espermatofitas) y constituye el principal medio de propagación de las especies. Desde el punto de vista fisiológico, la semilla contiene los elementos esenciales para el desarrollo de una nueva planta: el embrión, los tejidos de reserva y la cubierta seminal. Cada una de estas partes cumple funciones específicas que garantizan la viabilidad y el éxito germinativo.

El embrión representa la planta en estado latente y contiene los órganos embrionarios primordiales, radícula, hipocótilo, epicótilo y plúmula, los cuales darán origen al sistema radicular y al tallo durante la germinación.

Los tejidos de reserva, como el endospermo o los cotiledones, almacenan nutrientes (carbohidratos, proteínas y lípidos) que son utilizados en las primeras etapas del crecimiento, antes de que la plántula sea capaz de realizar fotosíntesis. Por su parte, la cubierta seminal o testa cumple una función protectora, regulando el intercambio de agua y gases y evitando daños mecánicos o infecciones por patógenos.

En conjunto, la estructura interna de la semilla refleja un diseño adaptativo que equilibra la protección, el almacenamiento energético y la capacidad de reanudación del crecimiento en condiciones ambientales favorables (Bewley et al., 2013).

1.4.2. Procesos metabólicos durante la maduración

Durante la maduración, la semilla experimenta una serie de procesos metabólicos complejos que determinan su viabilidad, vigor y capacidad de germinación. Esta etapa se caracteriza por una transición fisiológica desde un estado de crecimiento activo hacia uno de almacenamiento y preparación para la desecación. En ella, se intensifica la síntesis de macromoléculas como proteínas de reserva, lípidos y carbohidratos, los cuales se acumulan en los tejidos de almacenamiento (cotiledones o endospermo) y servirán posteriormente como fuente de energía y nutrientes para la germinación.

Asimismo, los procesos metabólicos incluyen la activación de rutas biosintéticas específicas, como la acumulación de azúcares compatibles y antioxidantes, que contribuyen a la tolerancia a la deshidratación y protegen las estructuras celulares frente al estrés oxidativo. A medida que avanza la maduración, la tasa de respiración disminuye y se produce una reducción progresiva del metabolismo, lo que permite que la semilla entre en un estado de latencia metabólica controlada.

Este equilibrio entre biosíntesis, protección celular y reducción del metabolismo es esencial para garantizar la longevidad y el correcto desarrollo de la semilla en el almacenamiento y durante la germinación (Nonogaki et al., 2010).

1.4.3. Mecanismo de deterioro de semillas

El deterioro de las semillas es un proceso natural y progresivo que se produce después de alcanzar la madurez fisiológica, caracterizado por la pérdida gradual de viabilidad y vigor. Este fenómeno se debe principalmente a cambios oxidativos en las membranas, proteínas y ácidos nucleicos, causados por la acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS). Dichos daños reducen la capacidad metabólica de la semilla y afectan su germinación y almacenamiento. La velocidad del deterioro depende de las condiciones ambientales, del contenido de humedad y del tipo de especie (Bailly, 2004).

1.4.4. Dormancia y mecanismo de superación

La dormancia de la semilla es un estado fisiológico en el cual el embrión permanece viable, pero incapaz de germinar a un bajo condiciones ambientales favorables. Este mecanismo adaptativo permite a las especies sincronizar la germinación con épocas adecuadas para su desarrollo, evitando la exposición a factores ambientales adversos. La dormancia puede ser de origen fisiológico, físico o morfológico, según la causa que impida la germinación (Baskin Baskin, 2014).

Los mecanismos de superación de la dormancia incluyen tratamientos naturales o artificiales que buscan restablecer la capacidad germinativa de la semilla. Entre ellos destacan la escarificación, que rompe la cubierta dura de la semilla; la estratificación, que simula periodos de frío o humedad; y el tratamiento hormonal, como la aplicación de giberelinas, que estimulan los procesos metabólicos del embrión. Estos métodos permiten superar las barreras impuestas por la dormancia y favorecer una germinación uniforme y controlada (Hilhorst, 2011).

1.5. Métodos de almacenamiento de semillas forestales

1.5.1. Principios básicos del almacenamiento

Los principios básicos se basan en controlar dos factores fundamentales: la humedad de la semilla y la temperatura del ambiente de almacenamiento. Una reducción del contenido de humedad y el mantenimiento de temperaturas bajas disminuyen la

actividad metabólica y ralentizan los procesos de deterioro, prolongando así la longevidad de las semillas (FAO, 2014).

1.5.2. Clasificación de semillas según el comportamiento frente al almacenamiento

1.5.2.1. Ortodoxas

Las semillas ortodoxas toleran la pérdida de humedad y pueden conservarse durante largos periodos en ambientes secos y fríos sin perder viabilidad. Esta característica permite su almacenamiento a bajas temperaturas en bancos de germoplasma, lo que las hace ideales para programas de conservación a largo plazo (Rao et al., 2007).

1.5.2.2. Recalcitrantes

Las semillas recalcitrantes, en cambio, son sensibles a la desecación y no pueden secarse ni almacenarse a bajas temperaturas, ya que estas condiciones provocan la pérdida rápida de viabilidad. Estas semillas requieren mantener un contenido hídrico elevado y condiciones ambientales controladas para su conservación temporal (FAO, 2014).

1.5.2.3. Intermedias

las semillas intermedias presentan un comportamiento intermedio entre las dos anteriores: pueden tolerar una ligera reducción de humedad, pero no resisten un secado extremo ni temperaturas muy bajas. Por ello, su manejo requiere condiciones específicas de temperatura y humedad que prolonguen su viabilidad sin causar daños fisiológicos (Hong Ellis, 1996).

1.5.3. Métodos de almacenamientos en laboratorio

1.5.3.1. Temperatura ambiente

Este método consiste en conservar las semillas en condiciones naturales del laboratorio, generalmente entre 20 y 25 °C, y con baja humedad relativa. Es apropiado solo para almacenamientos de corta duración y para especies ortodoxas, ya que las semillas recalcitrantes o de alta humedad pierden rápidamente su viabilidad (Rao et al., 2007).

1.5.3.2. Refrigeración

Implica conservar las semillas a temperaturas entre 0 °C y 10 °C. Este método reduce la actividad metabólica y respiratoria, prolongando la longevidad del material sin causar daños estructurales. Es ampliamente utilizado para colecciones activas y para almacenamiento de mediano plazo de semillas ortodoxas y algunas intermedias (FAO, 2014).

1.5.3.3. Congelación

Consiste en mantener las semillas a temperaturas de 18 °C o inferiores, generalmente en cámaras frías o congeladores especializados. Esta técnica permite una conservación a largo plazo, ya que detiene casi por completo la actividad metabólica. Solo las semillas ortodoxas pueden almacenarse con éxito bajo estas condiciones, debido a su resistencia a la desecación y a las bajas temperaturas (Hong Ellis, 1996).

1.5.3.4. Atmosferas controladas

Este método utiliza envases herméticos y atmósferas modificadas con niveles específicos de oxígeno, dióxido de carbono o nitrógeno, con el fin de reducir la oxidación y el envejecimiento. Su aplicación mejora la conservación de semillas sensibles y complementa otros sistemas de almacenamiento, al limitar la actividad de microorganismos y procesos degradativos (Rao et al., 2007).

1.5.4. Humedad relativa y contenido de humedad de la semilla

La humedad relativa es la proporción de vapor de agua presente en el aire con respecto a la cantidad máxima que podría contener a una temperatura determinada. En el ámbito del almacenamiento de semillas, este parámetro ambiental es decisivo, ya que regula el intercambio de humedad entre las semillas y el aire circundante. Cuando la humedad relativa del ambiente es elevada, las semillas tienden a absorber agua hasta alcanzar un equilibrio higroscópico; en cambio, si la humedad relativa es baja, las semillas liberan parte de su agua interna hasta igualar la humedad del entorno. Mantener una humedad relativa adecuada es fundamental para evitar la rehidratación o el secado excesivo, que pueden afectar la viabilidad y longevidad de las semillas (FAO, 2014; Rao et al., 2006).

El contenido de humedad de la semilla representa el porcentaje de agua presente en los tejidos de la semilla en relación con su peso fresco o seco. Este valor es un indicador crítico del estado fisiológico de la semilla, ya que influye directamente en su respiración, actividad enzimática y estabilidad estructural durante el almacenamiento. Un contenido de humedad elevado puede acelerar los procesos metabólicos y provocar deterioro, mientras que niveles demasiado bajos pueden causar desecación extrema y daños irreversibles. En semillas ortodoxas, se recomienda mantener el contenido de humedad entre el 5 % y 9 % para asegurar una conservación adecuada, especialmente en bancos de germoplasma a corto y mediano plazo (ISTA, 2023; Ellis Roberts, 1980; FAO, 2014).

1.5.5. Envases y materiales de empaque

Los envases son recipientes diseñados para contener directamente las semillas y mantenerlas aisladas de las condiciones externas que puedan alterar su calidad fisiológica o sanitaria. Su función principal es preservar la integridad física y el contenido de humedad de las semillas, evitando el intercambio de aire o vapor de agua con el ambiente. La elección del tipo de envase depende de la duración del almacenamiento, del tipo de semilla y de las condiciones ambientales. Entre los más utilizados se encuentran los frascos de vidrio herméticos, latas metálicas selladas y bolsas de aluminio trilaminado, que proporcionan una barrera eficaz contra la humedad y el oxígeno, garantizando la conservación de la viabilidad y el vigor de las semillas (Rao et al., 2007).

Los materiales de empaque se utilizan para envolver, proteger o aislar los envases que contienen semillas, especialmente durante su transporte y almacenamiento. Su propósito es proteger las semillas de factores externos, como la luz, la humedad o los cambios bruscos de temperatura, que podrían acelerar su deterioro. Los materiales más empleados son el papel Kraft, el cartón, los plásticos de alta densidad y las láminas de aluminio compuestas, que ayudan a mantener la estabilidad de las condiciones internas y evitan el daño mecánico o la contaminación. El uso adecuado del empaque

complementa la función del envase, asegurando la preservación del vigor y la longevidad del material almacenado (FAO, 2014).

1.6. Evaluación de la calidad fisiológica en laboratorio

1.6.1. Pruebas de germinación

Las pruebas de germinación permiten determinar el porcentaje de semillas capaces de producir plántulas normales bajo condiciones controladas de temperatura, humedad y luz. Este análisis evalúa la capacidad fisiológica de la semilla para iniciar su desarrollo y es uno de los indicadores más confiables de su calidad. Los resultados permiten estimar el potencial de establecimiento de un lote en condiciones de campo (ISTA, 2016).

1.6.2. Pruebas de viabilidad

Las pruebas de viabilidad se aplican para conocer el porcentaje de semillas vivas, independientemente de su capacidad inmediata de germinar. Se utilizan métodos como la prueba de tetrazolio, que identifica la actividad enzimática de los tejidos, indicando si el embrión está metabólicamente activo. Estas pruebas son esenciales cuando la germinación es lenta o cuando las semillas presentan dormancia (Delouche et al., 1983).

1.6.3. Pruebas de vigor

Se evalúan la capacidad de las semillas para germinar rápida y uniformemente y para desarrollar plántulas vigorosas bajo condiciones óptimas o de estrés. Este parámetro refleja el comportamiento potencial del lote en condiciones de campo, siendo complementario al porcentaje de germinación. Entre los métodos más comunes se encuentran la prueba de envejecimiento acelerado y la conductividad eléctrica (Marcos-Filho, 2015).

1.6.4. Análisis de humedad

Se determina el contenido de agua presente en las semillas, un factor clave para su almacenamiento y conservación. Un nivel adecuado de humedad reduce la actividad

metabólica y prolonga la viabilidad, mientras que un exceso puede acelerar el deterioro o favorecer la proliferación de hongos. Los métodos más utilizados son el secado en estufa y el uso de medidores electrónicos (Rao et al., 2007).

1.6.5. Control sanitario

El control sanitario en semillas se define como el conjunto de procedimientos, regulaciones y métodos destinados a prevenir, detectar y manejar la presencia de organismos patógenos o contaminantes en las semillas, con el objetivo de asegurar su calidad física, fisiológica y sanitaria, así como evitar la diseminación de enfermedades durante la producción, almacenamiento, intercambio y comercialización de semillas. Este control implica la aplicación de diagnósticos, normativas y tratamientos fitosanitarios que garantizan la sanidad de las semillas y la protección de los cultivos y ecosistemas agrícolas (Querales, 2018, p. 53).

1.7. Especies forestales de estudios

1.7.1. Descripción taxonómica de la especie de Tara (*Caesalpineia Spinosa*)

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Fabales*

Familia: *Fabaceae*

Subfamilia: *Caesalpinioideae*

Género: *Tara*

Especie: *Spinosa*

Nombre científico: *Tara Spinosa*

La tara es un árbol o arbusto de porte bajo a mediano, que alcanza entre 2 y 8 metros de altura, con un tronco corto y ramificado, de corteza grisácea a parda, rugosa y fisurada en ejemplares adultos. Sus ramas son espinosas, provistas de aguijones cortos,

curvados y duros, de aproximadamente 1 a 2 cm de longitud, lo que le permite resistir la herbívora y adaptarse a ambientes secos. La copa es amplia e irregular, de follaje verde claro, y su sistema radicular es profundo, lo cual le confiere alta resistencia a la sequía (Flores-Bendezú, 2002; FAO, 2014; Cossio Quevedo, 2019).

1.7.1.1. Hojas

Las hojas son alternas, compuestas y bipinnadas, de 15 a 30 cm de longitud, con 5 a 15 pares de pinnas y cada pinna con 10 a 20 pares de folíolos opuestos. Los folíolos son pequeños, ovalados a elípticos, de 0,5 a 1,5 cm de largo y 0,3 a 0,6 cm de ancho, de margen entero, ápice redondeado y base oblicua. Son de color verde claro en la fase joven y verde oscuro al madurar. El raquis es glabro y ligeramente canaliculado mientras que las estípulas son pequeñas y caducas. La estructura de la hoja facilita la reducción de la pérdida de agua por transpiración, lo cual constituye una adaptación a su hábitat árido (Burkart, 1987; Navarro Maldonado, 2002; Cossio Quevedo, 2019).

1.7.1.2. Flores

Las flores son hermafroditas, pequeñas y zigomorfas, de color amarillo a anaranjado pálido, agrupadas en racimos terminales o axilares de 10 a 20 cm de longitud. Cada flor presenta un cáliz con cinco sépalos libres, el sépalo inferior en forma de quilla, y cinco pétalos desiguales, de los cuales el superior es más grande y erecto. Posee 10 estambres libres, con filamentos vellosos en la base y anteras dorsifijas, y un ovario súpero con estilo largo y estigma terminal. La floración ocurre principalmente entre agosto y diciembre, coincidiendo con la estación seca en la región andina. Las flores son melitófilas, es decir, polinizadas principalmente por abejas nativas (FAO, 2014; Cossio Quevedo, 2019; Sosa et al., 2018).

1.7.1.3. Frutos

El fruto es una vaina leñosa, aplanada, rígida e indehisciente, de 7 a 12 cm de longitud y 2 a 3 cm de ancho, de color marrón oscuro al madurar. Cada vaina contiene de 4 a 7 semillas ovaladas, duras, de 1 a 1,2 cm de largo, color negro brillante y testa gruesa e impermeable. (Hong Ellis, 1996; Rao et al., 2007).

1.7.1.4. Distribución geográfica

La tara es una especie arbórea o arbustiva originaria de la región andina de Sudamérica. Su distribución natural abarca Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia y el norte de Chile, adaptándose a ecosistemas áridos y semiáridos, especialmente en laderas secas y quebradas entre los 500 y 3.000 m.s.n.m. (Navarro Maldonado,2002;FAO,2014). En Bolivia, la especie se encuentra principalmente en los valles interandinos y zonas del Chaco serrano, en departamentos como Chuquisaca, Tarija y Cochabamba, donde cumple una función ecológica relevante en la recuperación de suelos degradados (INIAF, 2022).

1.7.1.5. Importancia ecológica y usos

Ecológicamente, la tara es considerada una especie pionera, resistente a la sequía y con una elevada capacidad de adaptación a suelos pobres. Su sistema radicular profundo mejora la estructura y fertilidad del suelo mediante la fijación biológica de nitrógeno, además de reducir la erosión en zonas de pendiente (SERFOR, 2025).

Desde el punto de vista económico, sus vainas contienen entre 40 y 60 % de taninos, utilizados en la industria del curtido de cueros, tintes naturales, cosmética y farmacéutica. La goma extraída de sus semillas (goma de tara) se emplea como espesante natural en la industria alimentaria (FAO, 2014; Flores-Bendezú,2002). En la medicina tradicional andina, las hojas, vainas y semillas se han usado como astringentes, antiinflamatorios y cicatrizantes (Burkart, 1987).

También es apreciada como especie forestal en sistemas agroforestales, cortinas rompeviento y programas de reforestación en zonas áridas, por su bajo requerimiento hídrico y crecimiento moderado (Cossio Quevedo, 2019).

1.7.1.6. Características de sus semillas

Las semillas de tara son duras, brillantes, de color negro o marrón oscuro, con forma ovalada y tamaño promedio de 0,8 a 1,2 cm de longitud. Poseen una testa gruesa e impermeable que induce dormancia física, la cual requiere escarificación mecánica o química para favorecer la germinación (FAO, 2014; Rao et al., 2007).

El número de semillas por kilogramo varía entre 3.000 y 4.500, dependiendo del origen ecológico y grado de madurez de los frutos. Son semillas ortodoxas, tolerantes a la desecación, y pueden conservarse durante varios meses en condiciones controladas de baja humedad (8–10 %) y temperatura moderada (10–15 °C), siendo aptas para almacenamiento a corto y mediano plazo en bancos de germoplasma (Hong Ellis, 1996; INIAF, 2022).

1.7.1.7. Estado de conservación y relevancia ecológica

Aunque la tara no está categorizada como especie amenazada a nivel global según la UICN, en algunos ecosistemas locales su regeneración natural se ve afectada por la deforestación, el sobrepastoreo y la recolección intensiva de vainas con fines comerciales. (Navarro Maldonado, 2002). Su conservación es prioritaria en regiones andinas donde cumple un papel ecológico fundamental en la estabilización de suelos, la recuperación de áreas degradadas y la provisión de servicios ecosistémicos. El establecimiento de bancos de germoplasma y viveros de propagación controlada, como los promovidos por el CEAFOR-UFCAYF, contribuye significativamente a su preservación genética y aprovechamiento sostenible (INIAF, 2022; SERFOR, 2025).

1.7.2. Descripción taxonómica de la especie de Jarca (*Acacia visco*)

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Fabales*

Familia: *Fabaceae*

Subfamilia: *Mimosoideae*

Género: *Acacia*

Especie: *Acacia visco*

La jarca es una especie nativa del Gran Chaco Sudamericano, perteneciente a la familia Anacardiácea. Es un árbol de porte mediano a grande, que puede alcanzar hasta 20 metros de altura y un DAP de más de 60 cm. Se caracteriza por su madera extremadamente dura y pesada, y por su longevidad (Navarro Maldonado, 2002).

1.7.2.1. Hojas

Hojas alternas, compuestas, bipinnadas, raquis primario rubescentes, algo pubescente, con 3 a 15 pares de raquis secundarios rebescentes, opuestos, con 20 a 40 pares de folíolos opuestos, subsésiles, base oblicua, ápice agudo, algo pubescentes, nervadura principal su marginal, márgenes enteros. (Digilio Legname, 1966).

1.7.2.2. Flores

Flores hermafroditas sésiles, cáliz pubescente, acampanado; corola glabra, estambres numerosos, anteras pequeñísimas. (Digilio Legname, 1966).

1.7.2.3. Frutos

vaina glabra, papiráceo-membranácea, de color castaño, aplanada, oblonga de entre 7 y 15 cm de largo por 1,5 a 2,5 de ancho, ápice mucronado. (Hieronymus, 1882).

1.7.2.4. Distribución geográfica

Bolivia, Brasil, Paraguay, Uruguay, Argentina. En Argentina se lo halla Jujuy, Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja, San Juan, Mendoza, San Luis, Córdoba. Es cultivado en plazas y calles, incluso en la ciudad de Buenos Aires. (Digilio Legname, 1966).

1.7.2.5. Importancia ecológica y sus usos

Es una planta ornamental por excelencia su porte majestuoso, floración vistosa y fragante la hacen atractiva para adornar espacios abiertos como parques, avenidas, etc. No sirve para plantarla en calles angostas.

Su madera es usada como leña y en la elaboración de carbón de buena calidad. La madera con dimensiones grandes se emplea para la construcción de casas, fabricación de mangos para herramientas.

En el campo utilizan árboles aislados de jarca como ‘chalers’, una forma de conservar restos secos del cultivo de maíz para alimentar el ganado. La jarca proporciona un excelente forraje para los animales que consumen frutos, hojas y flores. (Gloria casal Rocabado – Orlando Erazo campos, Tarija 2003)

1.7.2.6. Características de sus semillas

Las semillas de jarca se encuentran dentro de legumbres muy aplanadas que miden entre 4 y 11 cm de longitud y 2 a 2,5 cm de ancho. Cada vaina contiene de 4 a 6 semillas, las cuales presentan forma lenticular, superficie lisa y bordes redondeados, con dimensiones aproximadas de 9 a 11 mm de largo y 7 a 8 mm de ancho. Su coloración es generalmente marrón claro o castaño suave, rasgo distintivo de varias especies del género *Acacia*. Estas características morfológicas han sido descritas en estudios botánicos especializados que detallan la estructura de frutos y semillas de la especie. (Amate et al., 2016).

1.7.2.7. Estado de conservación y relevancia ecológica

La jarca es considerada una especie de preocupación menor según evaluaciones antiguas, pero no hay datos recientes que indiquen que esté en peligro inminente, lo que sugiere que su estado de conservación es relativamente estable. Ecológicamente, esta especie es relevante porque está adaptada a ecosistemas montanos y semiáridos (entre 750 y 3.000 m de altitud), donde contribuye a la fijación de carbono en matorrales y bosques secundarios, ofrece madera con valor comercial, y además es usada como árbol ornamental en áreas urbanas y rurales por su resistencia a la sequía, al frío y a suelos pobres según *Parasenegalia visco* Seigler Ebinger (IUCN, tratamiento taxonómico y ecológico)

1.7.3. descripción taxonómica de la especie de algarrobo blanco (*Prosopis alba*)

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Subfamilia: Mimosoideae

Género: *Prosopis*

Especie: *Prosopis alba*

Algarrobo blanco, es un árbol de la familia Fabáceas, característico de ambientes áridos y semiáridos de Sudamérica. Puede alcanzar entre 5 y 15 metros de altura, presenta espinas cortas y escasas, y muestra una notable variabilidad morfológica y genética, especialmente en zonas de cruce con otras especies del género (Vega et al., 2020).

1.7.3.1. Hojas

Perennes y compuestas, con el peciolo bastante corto y los foliolos elípticos, de borde entero y nervadura central en el envés. Las orugas verdes son las principales minadoras de sus hojas, (Dostert N. 2012).

1.7.3.2. Flores

Crecen en largas espigas axilares. Son pequeñas, de color amarillo pálido, pubescente, cáliz campanulado y corola con 5 pétalos separados. La flor de este 15 árbol es muy susceptible a cambios de temperatura y fuertes vientos, (Dostert N. 2012).

1.7.3.3. Frutos

El Algarrobo es un árbol cuyos frutos son legumbres o vainas amarillentas delgadas, largas, carnosas con pulpa dulce. Las semillas son ovoides, de color pardo de 6 a 7 mm de longitud, esta vaina es una legumbre que, a diferencia de 16 otras, no se abre al secarse, de manera que no pierde la pulpa ni las semillas, (Dostert N. 2012).

Según Galera F. (2000), el fruto del Algarrobo está compuesto por tres partes; un exo y mesocarpio (pulpa) que corresponde alrededor del 56% del total del fruto, el endocarpio (carozo) correspondiente al 35% del fruto y la semilla que sería el 9% aproximadamente del peso total del fruto.

1.7.3.4. Distribución geográfica

El algarrobo blanco se distribuye ampliamente en Sudamérica: Argentina (principalmente en el Chaco, Formosa, Santiago del Estero, Salta, Tucumán y Córdoba), Uruguay, Paraguay, Brasil, Bolivia, Chile y Perú. Es común en bosques chaqueños y sabanas arenosas (Fontana, 2020).

1.7.3.5. Importancia ecológica y sus usos

El algarrobo blanco es clave en la restauración de ecosistemas degradados, mejora la fertilidad del suelo mediante fijación biológica de nitrógeno y tolera condiciones extremas. Provee madera de alta calidad, forraje, frutos comestibles, sombra y servicios ecosistémicos, siendo fundamental en sistemas silvopastoriles y en la industria maderera regional (Fontana, 2020).

1.7.3.6. Característica de las semillas

Las semillas son duras, elípticas, con dimensiones promedio de 6,04 mm de largo, 3,60 mm de ancho y 2,02 mm de espesor, presentando variabilidad según el origen geográfico. Son resistentes a la desecación y presentan alta viabilidad, lo que favorece su uso en reforestación (Fontana et al., 2019).

1.7.3.7. Estado de conservación y relevancia ecológica

Algarrobo blanco ha sido sobreexplotada en varias regiones, lo que ha llevado a la degradación de bosques nativos. Sin embargo, su alta variabilidad genética y capacidad de adaptación la hacen prioritaria en planes de conservación y restauración (Fontana, 2020).

1.7.4. descripción taxonómica de la especie de Molle (*Schinus molle*)

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Sapindales

Familia: Anacardiaceae

Género: *Schinus*

Especie: *Schinus molle*

Conocido como molle, es un árbol perenne de la familia Anacardiáceae, originario de ambientes semiáridos de los Andes de Perú y Bolivia, aunque actualmente está ampliamente distribuido y naturalizado en regiones templadas y subtropicales de América, África, Europa, Asia y Oceanía. Es una especie de rápido crecimiento, resistente a la sequía, que puede alcanzar hasta 15 metros de altura, con copa amplia y ramas colgantes, lo que le confiere un porte ornamental y facilita su uso en arbolado urbano y restauración de ambientes degradados (Ramírez-Albores et al., 2021).

1.7.4.1. Hojas

Las hojas del molle son compuestas, alternas, imparipinnadas, con 20 a 40 folíolos lineares-lanceolados de 2-5 cm de largo y 0,4-0,8 cm de ancho, de margen entero o levemente dentado. Presentan glándulas secretoras de aceites esenciales, responsables de su aroma característico y de su potencial bioactivo (Machado et al., 2019).

1.7.4.2. Flores

Las flores son pequeñas, unisexuales, dispuestas en panículas axilares. La corola está formada por cinco pétalos ovalados, de color blanco-amarillento, y los estambres son numerosos. La floración es abundante y favorece la polinización entomófila, principalmente por insectos (Scalvenzi et al., 2024)

1.7.4.3. Frutos

El fruto es una drupa globosa, de color rosado a rojo brillante al madurar, con epicarpio delgado y dehiscente. Los frutos son aromáticos, de sabor ligeramente picante, y se utilizan como sustituto de la pimienta en la gastronomía. Contienen aceites esenciales, carotenoides y compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes y antimicrobianas (Giuffrida et al., 2020).

1.7.4.4. Distribución geográfica

El molle es nativo de los Andes sudamericanos, especialmente de Perú y Bolivia, pero ha sido introducido y naturalizado en regiones semiáridas y mediterráneas de América, África, Australia, Asia y Europa, donde puede comportarse como especie invasora y colonizar hábitats perturbados, bordes de caminos y áreas urbanas (Ramírez-Albores et al., 2021; Lemos et al., 2019).

1.7.4.5. Importancia ecológica y sus usos

El molle es fundamental en la restauración de suelos degradados y en la provisión de servicios ecosistémicos, como la fijación de carbono, la mejora de la fertilidad del suelo y la provisión de hábitat para fauna. Sus aceites esenciales poseen propiedades insecticidas, antimicrobianas y medicinales, y sus frutos se emplean en la alimentación y la industria de fragancias. Además, es utilizado en fitoremediación de suelos contaminados y como barrera cortavientos (Scalvenzi et al., 2024; Huarsaya-Huillca et al., 2024).

1.7.4.6. Característica de las semillas

Las semillas son pequeñas, de forma elipsoidal, contenidas en la drupa, con testa dura y color marrón claro. Presentan alta viabilidad y capacidad de dispersión por aves y mamíferos, lo que favorece su expansión y colonización de nuevos ambientes (Howard & Minnich, 1989).

1.7.4.7. Estado de conservación y relevancia ecológica

A nivel global, el molle no está amenazado; por el contrario, en muchas regiones es considerada especie invasora debido a su alta capacidad de adaptación, reproducción y dispersión, lo que puede afectar la biodiversidad local y desplazar especies nativas. Sin embargo, en su área de origen, su conservación es relevante para mantener la diversidad genética y los servicios ecosistémicos que provee (Ramírez-Albores et al., 2021; Lemos et al., 2019).

El molle contribuye a la resiliencia de ecosistemas áridos y semiáridos, facilita la sucesión ecológica y la recuperación de áreas degradadas, y es fuente de compuestos

bioactivos de interés farmacéutico y agroindustrial. Su rol como especie pionera y su capacidad de modificar el microclima y la estructura del suelo lo hacen clave en la dinámica ecológica de los ambientes donde se establece (Lemos et al., 2019; Scalvenzi et al., 2024)

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. METODOLOGIA DEL TRABAJO DIRIGIDO

2.2. Descripción de la zona de procedencia de las semillas

El Valle Central de Tarija se caracteriza por ambientes de valles interandinos ubicados entre los 1.800 y 2.200 m s.n.m., donde predominan condiciones climáticas templadas, con una temperatura media anual cercana a los 18 °C y marcada estacionalidad de precipitaciones, concentradas entre los meses de noviembre y marzo. Los suelos son generalmente franco-arenosos a franco-limosos, con buena profundidad y contenido moderado de materia orgánica, permitiendo el desarrollo de especies forestales nativas propias de ambientes secos y semicálidos. En este mosaico ecológico se distribuyen formaciones arbustivas y bosquecillos abiertos donde prosperan algunas especies de Tara (*Caesalpinia Spinosa* (Molina) Kuntze., Jarca (*Acacia visco* Lorentz ex Griseb.), Algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.) y Molle (*Schinus molle* L), especies adaptadas a la sequedad estacional y a la alta radiación solar típica del valle. Gobierno Autónomo Departamental de Tarija (2020).

En las zonas más secas y soleadas de laderas y terrazas aluviales se desarrolla una vegetación xerofítica dominada por algarrobos blancos (*Prosopis alba*), que se establecen en suelos bien drenados y soportan largos periodos sin precipitación gracias a sus raíces profundas. En sectores intermedios, con mayor humedad edáfica, se encuentran agrupaciones de Molle (*Schinus molle*), especie pionera y de amplia distribución en Tarija, que forma rodales dispersos y aporta cobertura vegetal a zonas erosionadas. Estas condiciones permiten la coexistencia con Tara (*Caesalpinia Spinosa* (Molina) Kuntze., la cual se localiza principalmente en taludes y bordes de quebradas donde la humedad difundida favorece su establecimiento. Navarro & Ferreira (2011).

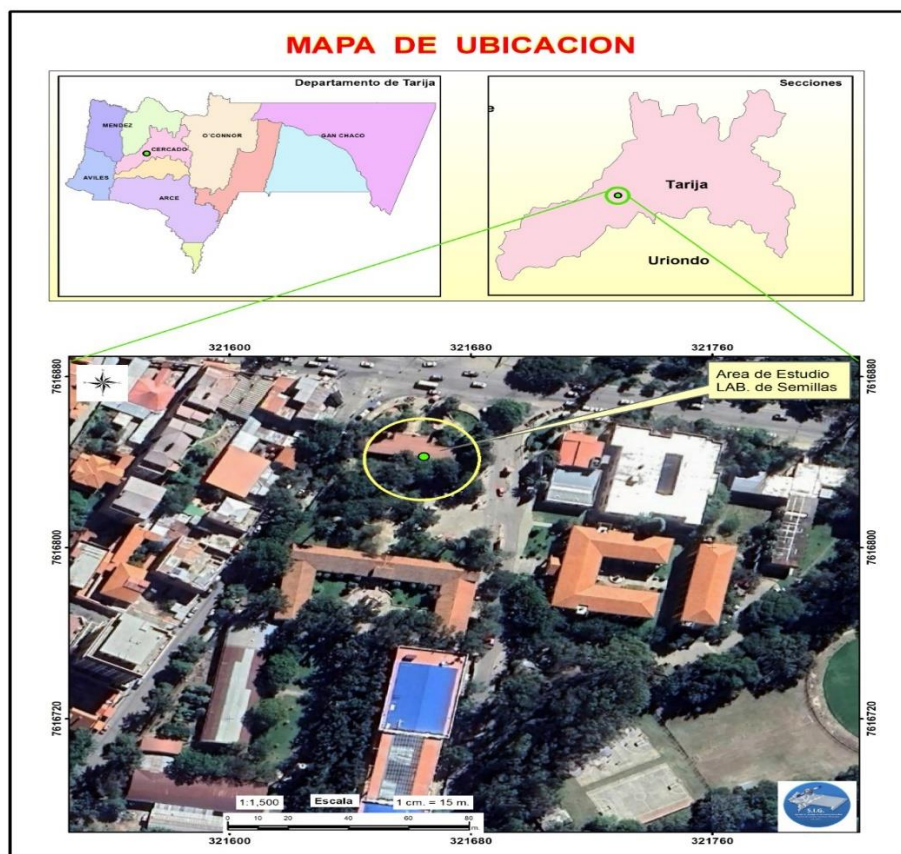
En áreas más frescas del valle y en la transición hacia zonas de meseta se observan rodales y arbustivas donde predomina la Jarca, representada localmente por *Acacia visco* especies que toleran suelos pedregosos y una marcada estacionalidad climática.

En estos ambientes, la jarca conforma pequeñas masas arbustivas acompañadas por arbustos secos, pastizales y ocasional presencia de Molle y Tara, formando un ecosistema mixto característico del valle. La vegetación asociada incluye especies propias de matorral seco interandino, lo cual otorga al Valle Central una fisonomía vegetal diversa, influenciada por gradientes de humedad, suelos y exposición solar. López, Ríos Gómez (2018).

2.2. Ubicación del área de estudios laboratorio de semillas

El presente estudio se desarrolló en el Laboratorio de Semillas de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, ubicado en la ciudad de Tarija, con coordenadas geográficas -21.542296, -64.722091.

Figura 3. 1. Mapa de ubicación del Laboratorio de Semillas en Tarija



2.3 Tipo y enfoque de investigación

El presente estudio corresponde a una investigación de tipo experimental, con enfoque cuantitativo, debido a que se evaluó el efecto de diferentes métodos de almacenamiento sobre la calidad fisiológica de semillas forestales, mediante la medición de variables como el porcentaje de germinación, la energía germinativa y el índice de velocidad de germinación.

2.4. Diseño experimental

El presente estudio se desarrolló bajo condiciones controladas de laboratorio en el Laboratorio de Semillas de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Debido a que las unidades experimentales presentaron condiciones homogéneas de temperatura, humedad y manejo, se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), el cual es ampliamente recomendado para experimentos realizados en ambientes controlados donde no existen fuentes importantes de variación externa (Gómez y Gómez, 1984; Montgomery, 2019).

El experimento se estableció mediante un arreglo factorial $4 \times 3 \times 3$, con el propósito de evaluar el efecto de tres factores experimentales y sus interacciones sobre la calidad fisiológica de las semillas.

El **factor A** (especie forestal) correspondió a:

- . Tara (*Caesalpinia Spinosa* (Molina) Kuntze.
- . Jarca (*Acacia visco* Lorentz ex Griseb.)
- . Algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.)
- . Molle (*Schinus molle* L).

especies nativas de importancia ecológica y productiva en regiones semiáridas de Bolivia.

El **factor B** (método de almacenamiento) estuvo representado por tres niveles:

- . almacenamiento en frasco de vidrio hermético,
- . almacenamiento en bolsa trilaminada sellada al vacío,

- . almacenamiento en bolsa de papel a temperatura ambiente.

El **factor C** (tiempo de almacenamiento) comprendió tres periodos de evaluación: 30, 90 y 180 días, los cuales permitieron analizar los cambios en la viabilidad y vigor de las semillas durante el proceso de conservación.

La combinación de los niveles de los tres factores generó un total de 36 tratamientos experimentales ($4 \times 3 \times 3$).

Cada tratamiento estuvo constituido por cuatro repeticiones, utilizando 25 semillas por repetición, con el fin de garantizar la representatividad de los resultados y reducir el error experimental.

En total se establecieron 144 unidades experimentales, las cuales fueron distribuidas de manera completamente aleatoria dentro del laboratorio, con el propósito de minimizar posibles sesgos experimentales y asegurar la validez de los resultados obtenidos.

2.5 Variables evaluadas

Se evaluaron las siguientes variables: porcentaje de germinación (%), índice de velocidad de germinación (IVG), energía germinativa (%), contenido de humedad (%) y pureza física de las semillas.

2.6 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), con el fin de determinar diferencias significativas entre tratamientos. Cuando se detectaron diferencias, se aplicó la prueba de comparación de medias de Duncan al 5% de significancia.

2.7. Procedimiento experimental

El presente estudio se desarrolló bajo condiciones controladas en el Laboratorio de Semillas de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Las semillas de Tara (*Caesalpinia Spinosa* (Molina) Kuntze., Jarca (*Acacia visco* Lorentz ex Griseb.), Algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.) y Molle (*Schinus molle* L). fueron obtenidas del Centro Especializado Agroforestal en Producción de Plantas (CEAFOR-PP), el cual proporcionó el material vegetal necesario para el desarrollo del presente estudio.

Posteriormente, las semillas fueron trasladadas al Laboratorio de Semillas de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, donde se realizó su selección, limpieza y acondicionamiento previo a los ensayos experimentales.

Una vez acondicionadas, las semillas fueron sometidas a los diferentes métodos de almacenamiento establecidos en el diseño experimental: frasco hermético, almacenamiento al vacío y bolsa de papel a temperatura ambiente. Cada tratamiento fue evaluado en tres periodos de almacenamiento (30, 90 y 180 días).

Durante el desarrollo del experimento se realizaron las siguientes evaluaciones:

2.7.1. Determinación del contenido de humedad

La determinación del contenido de humedad se realizó siguiendo los procedimientos establecidos por las normas ISTA, aplicando el método gravimétrico. Este método consistió en someter las semillas a un secado en estufa a 103 ± 2 °C durante el tiempo recomendado para cada especie. La pérdida de masa registrada permitió calcular el porcentaje de humedad inicial y final, lo que resultó fundamental para evaluar el comportamiento de las semillas durante el periodo de almacenamiento.

2.7.2. Pruebas de germinación

Las pruebas de germinación se llevaron a cabo en cámaras germinadoras equipadas con temperatura y humedad relativa, condiciones esenciales para reproducir el ambiente óptimo requerido por cada especie. Las semillas fueron sembradas sobre papel humedecido (caja Petri), utilizando procedimientos normalizados que permitieron registrar el porcentaje de germinación, la velocidad de emergencia de cada lote. Estas pruebas constituyeron la base para evaluar la calidad fisiológica de las semillas.

2.7.3. Determinación de la pureza de las semillas

La pureza se determinó pesando una porción de 25 g de semilla de cada especie, en cada lote de semillas, identificando y clasificando materia inerte, semillas puras y otras semillas. El proceso se realizó sobre superficies limpias y con iluminación adecuada, empleando pinzas finas para garantizar precisión. El análisis de pureza permitió establecer la calidad física del material inicial y final, así como identificar cambios asociados al almacenamiento.

2.7.4. Cálculo del índice de velocidad de germinación

El índice de velocidad de germinación se determinó mediante la contabilización diaria de las semillas germinadas, aplicando la fórmula propuesta por Maguire (1962). Este índice permite evaluar la rapidez del proceso germinativo, considerando el número de semillas germinadas en función del tiempo transcurrido desde la siembra, constituyendo un indicador del vigor fisiológico de las semillas.

$$IVG = \sum \frac{G_i}{T_i}$$

Donde:

G_i = número de semillas germinadas en el día i

T_i = tiempo en días desde la siembra

2.7.5. Determinación de la energía germinativa

La energía germinativa se midió a partir del registro de germinación en los primeros días del ensayo, considerando la rapidez y uniformidad de la emergencia inicial. Esta técnica permitió identificar la capacidad de respuesta de las semillas bajo condiciones óptimas y evaluar posibles reducciones del vigor asociadas al almacenamiento.

2.7.6. Métodos de almacenamiento

Para los tratamientos de conservación se emplearon tres técnicas principales. El almacenamiento en frascos herméticos se realizó utilizando envases de vidrio esterilizados que permitieron asegurar un cierre completamente sellado. Para el almacenamiento al vacío se utilizaron bolsas trilaminadas selladas mediante máquina

extractora de aire. El almacenamiento en bolsa de papel a temperatura ambiente consistió en conservar las semillas en envases de papel, los cuales permiten el intercambio de aire y humedad con el ambiente. Este método se caracteriza por no ser hermético, lo que favorece la ventilación del material, pero también lo expone a variaciones de temperatura y humedad relativa del entorno. garantizando la reducción del oxígeno en el interior del envase. Ambas técnicas fueron aplicadas de manera controlada para evaluar su efecto sobre la calidad fisiológica de las cuatro especies durante el periodo experimental.

2.8. Materiales empleados

2.8.1 De campo

- . Bolsas
- . Etiquetas de identificación
- . Marcadores permanentes
- . Cámara fotográfica
- . Cuaderno de registro
- . GPS

2.8.2. De gabinete

- . Frascos herméticos
- . Bolsas trilaminadas
- . Máquina selladora al vacío
- . Registro de datos en computadora

2.8.3. De laboratorio

- . Semillas forestales
- . Balanza analítica de precisión
- . Cajas Petri
- . Estufa de secado
- . Cámara de germinación
- . Fichas de control

2.9. Descripción sistematizada del desarrollo del trabajo dirigido

2.9.1. Extracción, Limpieza y Obtención de las semillas

Las semillas de tara, jarca, algarrobo blanco y molle fueron obtenidas del Centro Especializado Agroforestal en Producción de Plantas (CEAFOR-PP), el cual facilitó el material vegetal para el presente estudio.

Posteriormente, las semillas fueron trasladadas al Laboratorio de Semillas de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, donde se realizó el proceso de limpieza, que incluyó la eliminación de material inerte, restos vegetales y semillas dañadas.

La separación se efectuó de manera manual y cuidadosa, siguiendo los protocolos establecidos por las normas ISTA, garantizando la pureza física y la calidad del lote.

Una vez finalizado este proceso, las semillas quedaron listas para su utilización en las pruebas de germinación y evaluación de calidad fisiológica.

2.9.2. Análisis de calidad de semillas

La evaluación de la calidad de las semillas se hizo siguiendo el mismo orden de los capítulos de la regla internacional ISTA.

Para iniciar el proceso, se realizó un muestreo representativo del lote de semillas recolectadas en la zona. Se empleó el método de mano extendida, el cual consiste en introducir la mano con los dedos abiertos en pequeñas porciones del lote, extrayendo varias fracciones que luego se mezclan cuidadosamente hasta conformar una muestra. Sobre la base de estas semillas se efectuaron las pruebas de pureza, contenido de humedad y las pruebas de germinación.

Para analizar el control de humedad de las semillas se trabajó con muestras de las cuatro especies recolectada de la zona, efectuando una doble determinación sobre dos submuestras, pesadas en cajas Petri y sometidas al secado en horno a baja temperatura constante, el cual se fue elevando la temperatura hasta 103 ± 2 °C durante 24 horas. Para luego efectuar nuevamente el pesado de las semillas con el fin de determinar la humedad de las semillas, aplicando la siguiente formulas

$$CH = (P_2 - P_3) \frac{100}{(P_2 - P_1)}$$

Donde:

P_1 = Peso en gramos de la capa Petri

P_2 = Peso en gramos de capa Petri y semillas antes del secado

P_3 = Peso en gramos de caja Petri y semillas después del secado

2.9.3. Pruebas de Germinación

Previo a la siembra, las semillas de cada especie fueron sometidas a diferentes pretratamientos germinativos, con el objetivo de optimizar la ruptura de la dormancia y favorecer la germinación, siguiendo metodologías respaldadas por la literatura científica:

Tara (*Caesalpinia Spinosa* (Molina)Kuntze): Las semillas fueron sometidas a un lijado superficial (escarificación mecánica) para debilitar la testa, seguido de un remojo en agua a temperatura ambiente durante 24 horas. Este procedimiento facilita la absorción y ha demostrado ser efectivo para especies con cubiertas semi duras.

Jarca (*Acacia visco* Lorentz ex griseb) Las semillas no recibieron ningún pretratamiento germinativo previo, actuando como control para comparar la respuesta natural de germinación bajo las mismas condiciones experimentales.

Algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb): Las semillas fueron remojadas en agua a temperatura ambiente durante 24 horas, técnica que incrementa la permeabilidad de la testa y mejora la germinación.

Molle (*Strychnos molle* L) las semillas fueron remojadas en agua a temperatura ambiente durante 24 horas, método recomendado para especies con dormancia física moderada.

Para cada especie y tratamiento, se emplearon 100 semillas, distribuidas en cuatro repeticiones de 25 semillas cada una, Las semillas se colocaron en cajas Petri estériles sobre papel húmedo y fueron llevadas a la cámara germinadora a temperatura constante

de 26,5 °C y humedad relativa del 93%. Estas condiciones se mantuvieron durante todo el periodo experimental para asegurar uniformidad y reproducibilidad en la evaluación de la germinación.

Las pruebas de germinación se realizaron a los 30, 90 y 180 días posteriores al almacenamiento de las semillas, utilizando tres métodos: En frasco hermético, envasado al vacío y en bolsa de papel a temperatura ambiente. En cada prueba, se evaluó el porcentaje de germinación y la velocidad de emergencia, registrando como semilla germinada aquella que presentó protrusión de la radícula según el criterio ISTA.

Para evaluar los resultados se empleó la siguientes formulas propuestas por Hartman y Kester (1980):

$$\text{Porcentaje de germinación} = \frac{\text{Numero de semillas germinadas}}{\text{Numero total de semillas empleadas}} * 100$$

Para encontrar la influencia de la procedencia de las semillas y la técnica de siembra utilizada se analizó también a través de la energía germinativa, entendiéndose como tal a la rapidez de germinación expresado por la siguiente fórmula.

$$\text{Energia germinativa} = \frac{\text{promedio de germinacion maxima}}{\text{numero total de semillas}} * 100$$

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Calidad de las semillas

3.1.1 Análisis de pureza

Para medir la proporción de semilla limpia empleada en el experimento se redujo la muestra utilizando el método de los recipientes colocados al azar, que consistió en colocar sobre una charola ocho vasos pequeños, donde las semillas fueron esparcidas de manera uniforme sobre toda la charola. La mayor parte de las semillas cayó sobre la charola, pero algunas fueron colectadas en los vasos, de manera que al mezclarlos se obtuvo la muestra como lo especifica, la norma ISTA (2024).

Para el análisis de pureza, las muestras de semillas para las cuatro especies, estuvo compuesta aproximadamente de 25 gr, obteniéndose los siguientes resultados:

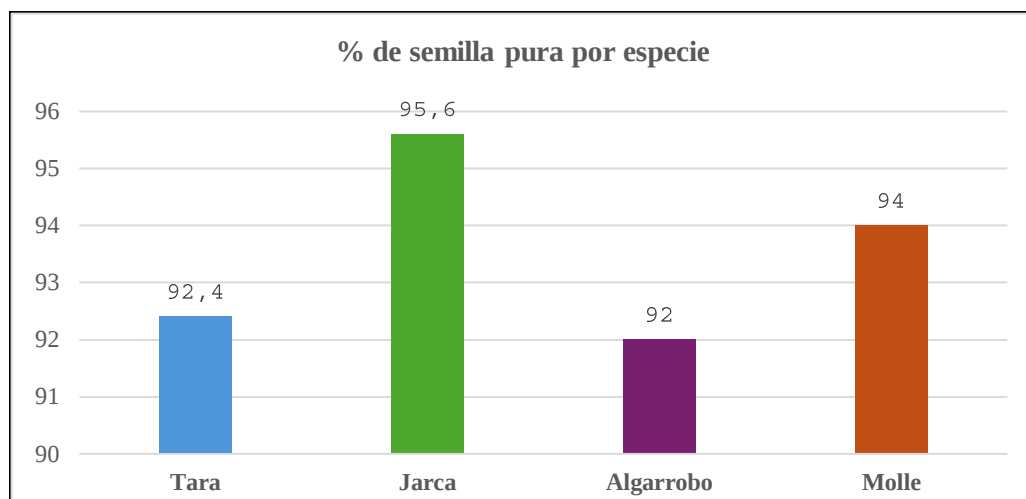
Cuadro 3.1 .Análisis de pureza de semillas de Tara (*Caesalpinia Spinosa* (Molina)Kuntze, Jarca (*Acacia visco* Lorentz ex Griseb), Algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb) y Molle (*Schinus molle* L) procedentes del Valle Central de Tarija.

Componente	Tara		Jarca		Algarrobo blanco		Molle	
	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%
Semilla pura	23.1	92.4	23.9	95.6	23	92	23.5	94
Otra semilla	0.9	3.6	0.42	1.68	0.95	3.8	0.9	3.6
Materia inerte	1	4	0.68	2.72	1.05	4.2	0.6	2.4
Total	25	100	25	100	25	100	25	100

Fuente: Elaboración propia

Ponderando el análisis de pureza realizado para las especies Tara (*Caesalpinia Spinosa* (Molina) Kuntze.), Jarca (*Acacia visco* Lorentz ex Griseb.), Algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.) y Molle (*Schinus molle* L). de acuerdo con la norma ISTA, se evidenció que los cuatro lotes presentan una alta proporción de semilla pura, con valores de 92,4 % para Tara, 95,6 % para Jarca, 92 % para Algarrobo blanco y 94 % para Molle, lo que indica una adecuada calidad física del material y un eficiente proceso de limpieza.

Figura 3.2. Porcentaje de pureza de semillas por especie.



Fuente: *Elaboración propia*

3.1.2 Contenido de humedad de las semillas

Para determinar el contenido de humedad de las semillas, se trabajó sobre dos submuestras, pesadas en cajas Petri y sometidos al secado en una estufa a una temperatura constante de 103 ± 2 °C durante 17 horas, para luego efectuar nuevamente las pesadas, aplicando la siguiente fórmula:

$$CH = (P_2 - P_3) \frac{100}{(P_2 - P_1)}$$

Donde:

P_1 = Peso en gramos de la capa Petri

P_2 = Peso en gramos de capa Petri y semillas antes del secado

P_3 = Peso en gramos de caja Petri y semillas después del secado

Cuadro 3. 2. Determinación del Contenido de Humedad de semillas de Tara (*Caesalpinia Spinosa* (Molina) Kuntze., Jarca (*Acacia visco* Lorentz ex Griseb.), Algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.) y Molle (*Schinus molle* L).

Parámetro	Tara		Jarca		Algarrobo blanco		Molle	
	Mues1	Mues2	Mues1	Mues2	Mues1	Mues2	Mues1	Mues2
Peso 1 (P_1)	30.67	29.51	26.77	29.39	48.50	49.53	30.77	32.18
Peso 2 (P_2)	42,73	40.95	32.44	35.03	54.53	53.59	31.92	33.50
Peso 3 (P_3)	41,39	39.69	31.65	34.25	53.91	53.17	31.77	33.33
C. Humedad	11.12	11.00	13.93	13.78	10.45	10.34	13.04	12.87
Promedio	11.06 %		13.85 %		10.40 %		12.96 %	
Discrepancia	0.12		0.15		0.11		0.17	

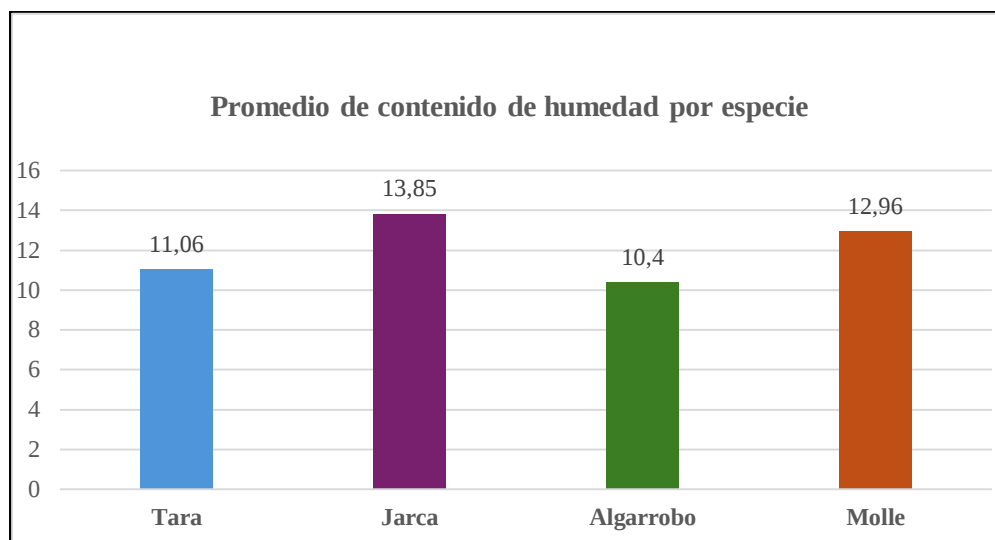
Fuente: Elaboración propia

La determinación del contenido de humedad de las semillas Tara (*Caesalpinia Spinosa* (Molina) Kuntze., Jarca (*Acacia visco* Lorentz ex Griseb.), Algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.) y Molle (*Schinus molle* L). permitió establecer que los valores obtenidos se encuentran dentro de rangos adecuados para su conservación.

Los contenidos de humedad promedio fueron de 11,06 % para Tara, 13,85 % para Jarca, 10,40 % para Algarrobo blanco y 12,96 % para Molle. Estos resultados indican que las semillas presentan condiciones favorables para su almacenamiento, ya que niveles de humedad moderados contribuyen a disminuir la actividad metabólica y el deterioro fisiológico.

En relación con la discrepancia entre submuestras, los valores obtenidos fueron de 0,12 para Tara, 0,15 para Jarca, 0,11 para Algarrobo blanco y 0,17 para Molle, los cuales no superan el límite máximo de 0,2 % establecido por la ISTA. Esto confirma la homogeneidad de las muestras analizadas y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Figura 3.3. Contenido de humedad promedio de semillas por especie, para evaluar su estabilidad y reducir el deterioro fisiológico.



Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Determinación del peso de las semillas

Las normas ISTA, indican que debe calcularse la desviación típica y el coeficiente de variación para observar si se trabajó con datos confiables, de este modo el margen de seguridad es de 4 %. Si el coeficiente de variación reporta valores elevados, significa que existe una gran variación en el número de semillas vanas por muestra, por tanto, se debe aumentar el número de muestras para bajar esta variación.

El peso de 100 semillas de las especies ensayadas (Tara, Jarca, Algarrobo blanco y Molle) muestran diferencias significativas entre ellas, siendo la tara la especie con semillas más pesadas y el molle la más ligera. Los coeficientes de variación obtenidos (0,99 % a 2,9 %) se encuentran por debajo del 4 % establecido por ISTA, lo que indica baja variabilidad entre submuestras y datos confiables. A partir del peso promedio se estimó el número de semillas por kilogramo, observándose que las especies con semillas más livianas presentan mayor cantidad de semillas por kilogramo, mientras que las más pesadas tienen menos. Estos resultados permiten caracterizar la masa de

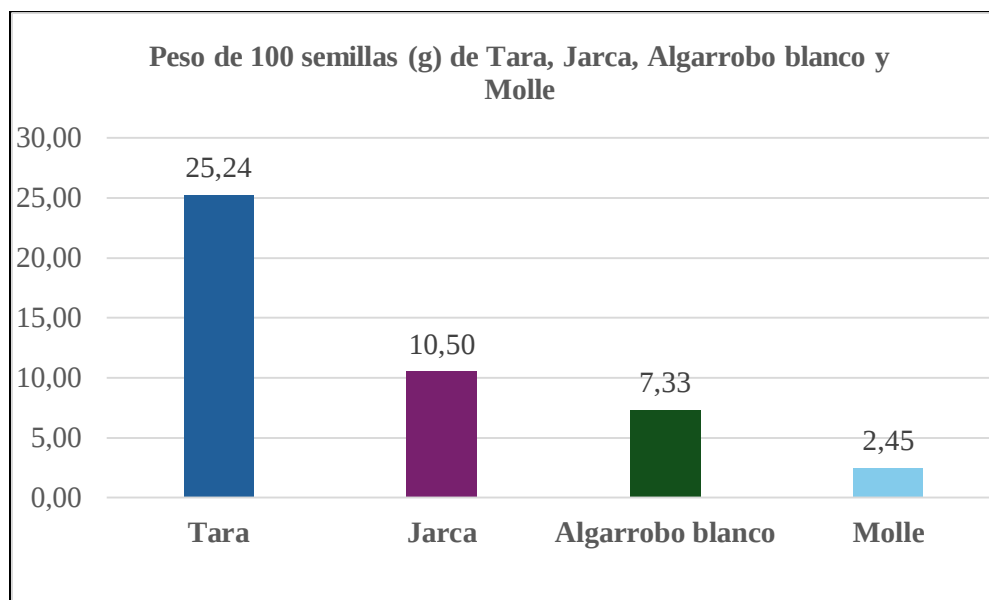
semillas de cada especie y son útiles para la planificación de siembras, conservación de germoplasma y manejo de semillas forestales.

Cuadro 3. 3 .Determinación del peso de 100 semillas y número de semillas por kilogramo.

Submuestra	N.º de semillas	Peso en gr (Tara)	Peso en gr (Jarca)	Peso en gr (Algarrobo blanco)	Peso en gr (Molle)
1	100	25.26	10.65	6.85	2.26
2	100	25.66	10.79	7.56	2.44
3	100	25.30	10.63	7.41	2.43
4	100	25.36	10.42	7.35	2.40
5	100	25.40	10.30	7.46	2.47
6	100	25.08	10.26	7.30	2.45
7	100	24.93	10.35	7.34	2.42
8	100	24.92	10.56	7.44	2.48
Desviación estándar		0.25	0.19	0.21	0.02
Promedio		25.24	10.50	7.33	2.45
Coef. De variación (%)		0.99	1.81	2.9	1.09
N.º semillas / Kg.		3962	9527	13623	40926

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1. Peso promedio de 100 semillas de las especies forestales evaluadas



Fuente: Elaboración Propia

3.2. Evaluación del efecto de los métodos de almacenamiento

3.2.1 Porcentaje de germinación

El efecto en la viabilidad de los métodos de almacenamiento en semillas de las cuatro especies forestales, se evaluó a través del porcentaje de germinación, entendiéndose como tal, al número de semillas germinadas con respecto al total de semillas empleadas. analizado bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial, cuyos resultados del Análisis de Varianza, se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 3. 4. Análisis de Varianza del porcentaje de germinación de semillas de cuatro especies forestales expuestas a tres métodos de almacenamiento, determinados en tres tiempos de almacenamiento.

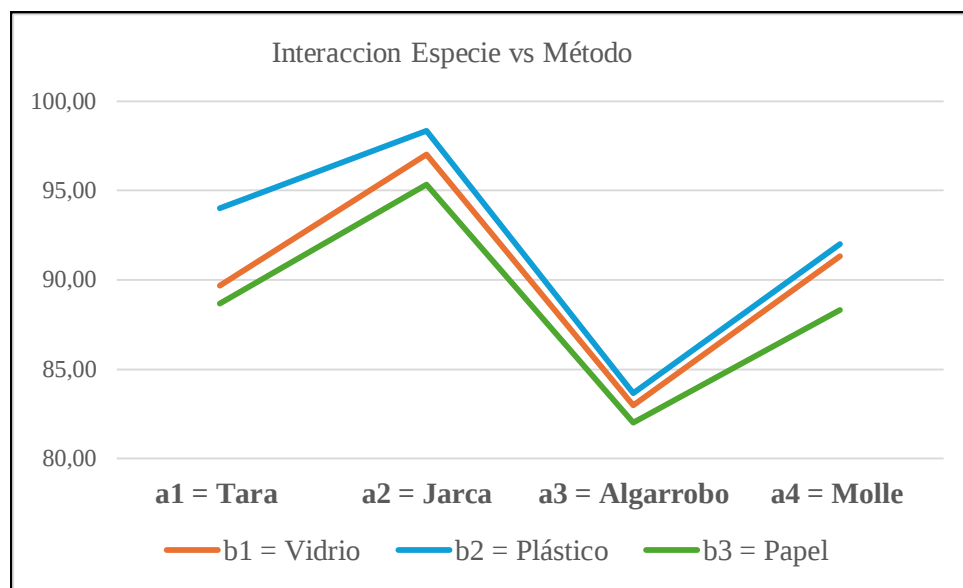
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F cal	F tab (0.05)	F tab (0.01)
Repetición	187.6	3.0	62.52	2.18	2.69	3.97
Especie	3880.0	3.0	1293.33	** 45.20	2.69	3.97
Método	286.9	2.0	143.44	5.01 **	3.08	4.81
Tiempo	581.6	2.0	290.78	** 10.16	3.08	4.81
Especie *						
Método	106.0	6.0	17.67	0.62	2.19	2.98
Especie *						
Tiempo	211.3	6.0	35.22	1.23	2.19	2.98
Método *						
Tiempo	117.1	4.0	29.28	1.02	2.46	3.50
Especie *						
Método *						
Tiempo	108.7	12.0	9.06	0.32	1.85	2.36
Tratamientos	5291.6	35.0	151.19	5.28 **	1.54	1.83
Error experimental	3004.4	105.0	28.61			
Total	8483.6	143.0				

De acuerdo a los resultados mostrados en el análisis de varianza, evidenció diferencias altamente significativas entre las especies forestales evaluadas ($F = 45,20$; $p < 0,01$), indicando que la capacidad germinativa varió de manera importante entre las cuatro especies estudiadas, independientemente del método y del tiempo de almacenamiento.

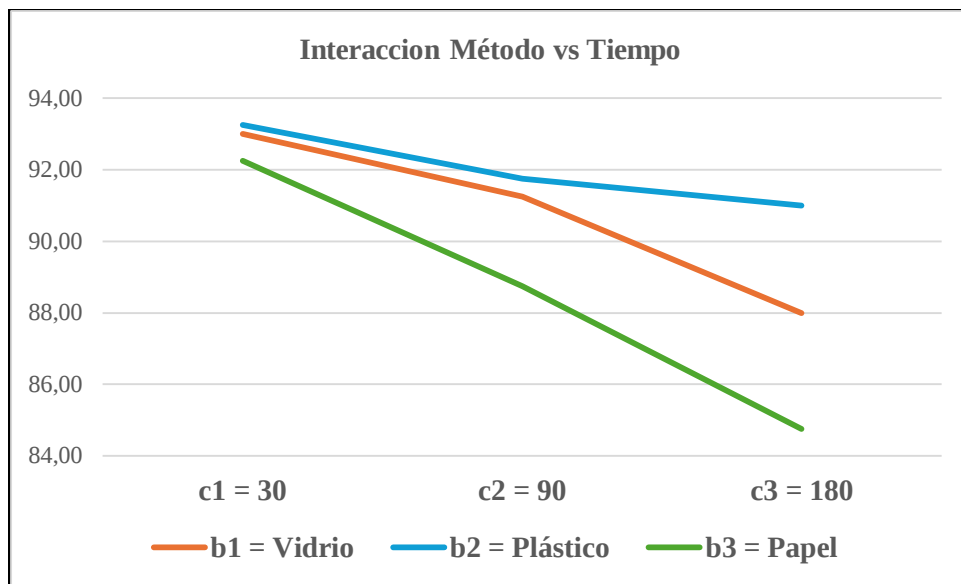
Asimismo, se observaron diferencias altamente significativas para el factor método de almacenamiento ($F = 5,01$; $p < 0,01$) y para el tiempo de almacenamiento ($F = 10,16$; $p < 0,01$), lo que demuestra que ambos factores influyeron sobre el porcentaje de germinación de las semillas.

Por otra parte, las interacciones especie $\times$ método ($F = 0,62$), especie $\times$ tiempo ($F = 1,23$), método $\times$ tiempo ($F = 1,02$) y especie $\times$ método $\times$ tiempo ($F = 0,32$) no presentaron diferencias significativas, indicando que el efecto de los métodos y tiempos de almacenamiento fue similar en todas las especies evaluadas. Estos resultados se respaldan mediante los gráficos de interacción presentados a continuación.

Figura 3.2. Interacción especie por método en el porcentaje de germinación.



La especie Jarca (a2) presentó el mayor porcentaje de germinación, alcanzando aproximadamente 98,2% en el método de almacenamiento en plástico (b2), mientras que la especie Algarrobo (a3) registró el menor porcentaje, con alrededor de 82,0% en el método de almacenamiento en papel (b3). Esto evidencia una diferencia aproximada de 16,2% entre los valores extremos de germinación observados.

Figura 3.3. Interacción especie por tiempo en el porcentaje de germinación

El mayor porcentaje de germinación se registró en el método de almacenamiento en plástico (b2) a los 30 días (c1), con aproximadamente 93,2%, mientras que el menor porcentaje se presentó en el almacenamiento en papel (b3) a los 180 días (c3), con alrededor de 84,7%. Esto representa una disminución aproximada de 8,5% entre los valores extremos observados.

Cuadro 3.5. Medias del porcentaje de germinación según especies y métodos de almacenamiento.

Factor A	Factor B			Promedio
	b1 = Vidrio	b2 = Plástico	b3 = Papel	
a1 = Tara	89.67	94.00	88.67	90.78
a2 = Jarca	99.00	98.33	95.33	97.56
a3 = Algarrobo	83.00	83.67	82.00	82.89
a4 = Molle	91.33	92.00	88.33	90.56
Promedio	90.75	92.00	88.58	90.44

Para promedios del Factor Especie:

$$\Delta_{\alpha} = q_{(a; GLE, Exp)} \sqrt{\frac{CM_{E, Exp}}{b * c * r}} \quad \Delta_{\alpha} = 3.68 \sqrt{\frac{28.61}{3 * 3 * 4}}$$

GLE = 105

Nivel de significancia = 5%

CME (Error Exp.) = 28.61

Valor de Tukey = 3.28

3.5.1. Prueba de Tukey para la comparación de medias del porcentaje de germinación del factor especie.

		a3 = Algarrobo	a4 = Molle	a1 = Tara	a2 = Jarca
		82.89	90.56	90.78	97.56
a2 = Jarca	97.56	14.67	7.00	6.78	0.00
a1 = Tara	90.78	7.89	0.22	0.00	
a4 = Molle	90.56	7.67	0.00		
a3 = Algarrobo	82.89	0.00			

Si se compara Jarca con Algarrobo, los promedios son: $97.56 - 82.89 = 14.67$; este valor es superior a 3.28, por tanto, hay diferencia significativa de germinación entre las dos especies.

Cuadro 3.6. Comparación de medias en germinación según métodos de almacenamiento y tiempo de conservación.

	Factor C			
Factor B	c1 = 30	c2 = 90	c3 = 180	Promedio
b1 = Vidrio	93,00	91,25	88,00	90,75
b2 = Plástico	93,25	91,75	91,00	92,00
b3 = Papel	92,25	88,75	84,75	88,58
Promedio	92,83	90,58	87,92	90,44

Para promedios Factor de Métodos:

$$\Delta_{\alpha} = q_{(\alpha; GLE, Exp)} \sqrt{\frac{CME}{n}}$$

$$\Delta_{\alpha} = 3.28 \sqrt{\frac{28.61}{12}} =$$

GLE = 105

Nivel de significancia = 5%

Número de observaciones por tratamiento: n = 12

CME (Error Exp.) = 28.61

Valor de Tukey = 5.06

3.6.1. Comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey para métodos de almacenamiento.

		b3=papel	b1=vidrio	b2=plástico
b2=plástico		3.42	1.25	0.00
b1=vidrio		2.17	0.00	
b3=papel		0.00		

Si se compara el método plástico con papel, los promedios son: 92.00 – 88.58 = 3.42; este valor es menor que la diferencia mínima significativa ($\Delta\alpha = 5.06$), por tanto, no existe diferencia significativa en la germinación entre ambos métodos de almacenamiento.

Cuadro 3. 7. Efecto del tiempo de almacenamiento en la germinación de cuatro especies forestales.

	Factor C			
Factor A	c1 = 30	c2 = 90	c3 = 180	Promedio
a1 = Tara	92,67	91,67	88,00	90,78
a2 = Jarca	99,00	96,33	97,33	97,56
a3 = Algarrobo	85,33	82,67	80,67	82,89
a4 = Molle	94,33	91,67	85,67	90,56
Promedio	92,83	90,58	87,92	90,44

Para promedio Factor Tiempo:

$$\Delta_{\alpha} = q_{(\alpha; GLE, Exp)} \sqrt{\frac{CME}{n}}$$

$$\Delta_{\alpha} = 3.28 \sqrt{\frac{28.61}{12}}$$

GLE = 105

Nivel de significancia = 5%

Número de observaciones por tratamiento: n = 12

CME (Error Exp.) = 28.61

Valor de Tukey = 5.06

3.7.1. Comparación múltiple de medias para el tiempo de almacenamiento mediante la prueba de Tukey.

		c3=180 días	c2=90 días	c1=30 días
c1=30 días	92.83	4.91	2.25	0.00
c2=90 días	90.58	2.66	0.00	
c3=180 días	87.92	0.00		

El análisis de comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey al 5% de significancia evidenció que la mayor diferencia en el porcentaje de germinación se presentó entre los tiempos de almacenamiento de 30 y 180 días (4,91), seguida por las comparaciones entre 90 y 180 días (2,66) y entre 30 y 90 días (2,25). No obstante, dichas diferencias no superan la diferencia mínima significativa ($\Delta\alpha = 5,06$), por lo que se concluye que no existen diferencias estadísticamente significativas en la germinación entre los tiempos de almacenamiento evaluados.

3.2.2. Índice de velocidad de germinación

El efecto de los métodos de almacenamiento sobre la velocidad de germinación de las semillas de las cuatro especies forestales fue evaluado mediante el índice de velocidad

de germinación, el cual permite estimar la rapidez con la que ocurre el proceso germinativo. Este análisis se realizó bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial, cuyos resultados del análisis de varianza se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.8. Análisis de varianza de la velocidad de germinación de semillas de cuatro especies forestales expuestas a tres métodos de almacenamiento, evaluadas en tres tiempos de almacenamiento.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F calc	Sig.	F tab 5%	F tab 1%
Repetición	0,79	3	0,26	1,11	NS	2,69	3,97
Especie	797,24	3	265,74	1113,62	**	2,69	3,97
Método	2,72	2	1,36	5,70	**	3,08	4,81
Tiempo	36,68	2	18,34	76,87	**	3,08	4,81
Especie * Método	33,01	6	5,50	23,05	**	2,18	2,97
Especie * Tiempo	31,27	6	5,21	21,84	**	2,18	2,97
Método * Tiempo	24,00	4	6,00	25,15	**	2,45	3,50
Especie * Método * Tiempo	53,95	12	4,49	18,84	**	1,84	2,35
Error experimental	25,05	105	0,23				
Total, corregido	1004,74	143					

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$) para los factores especie ($F = 1113,62$), tiempo ($F = 76,87$) y método de almacenamiento ($F =$

5,70), siendo la especie el factor de mayor influencia sobre la velocidad de germinación.

Las interacciones especie $\times$ método ($F = 23,05$), especie $\times$ tiempo ($F = 21,84$), método $\times$ tiempo ($F = 25,15$) y especie $\times$ método $\times$ tiempo ($F = 18,84$) también presentaron diferencias altamente significativas, indicando que la velocidad de germinación varió según la combinación de los tratamientos evaluados. Por otro lado, las repeticiones no mostraron diferencias significativas ($F = 1,11$).

Cuadro 3.9 .Comparación de medias entre especies (Duncan, $\alpha = 0.05$).

Velocidad de Germinación: Especies					
Duncan ^{a, b}					
Especie	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
Molle	36	3,77			
Algarrobo	36		4,14		
Tara	36			5,30	
Jarca	36				9,68
Sig.		1,00	1,00	1,00	1,00

La comparación múltiple de medias mediante la prueba de Duncan al 5% de significancia evidenció diferencias estadísticas entre las especies evaluadas. La especie Jarca presentó el mayor índice de velocidad de germinación (9,68), diferenciándose significativamente del resto. En orden descendente le siguen Tara (5,30), Algarrobo (4,14) y Molle (3,77), observándose que cada especie conforma un subconjunto homogéneo independiente.

Estos resultados indican que la velocidad de germinación está influenciada por las características fisiológicas propias de cada especie.

Cuadro 3.10. Comparación de medias según métodos de almacenamiento (Duncan, $\alpha = 0.05$).

Velocidad de Germinación: Método almacenamiento			
Duncan ^b			
Método	N	Subconjunto	
		1	2
Papel	48	5,59	
Plástico	48	5,66	
Vidrio	48		5,91
Sig.		0,48	1,00

La comparación múltiple de medias mediante la prueba de Duncan al 5% de significancia (Cuadro 4.10) evidenció diferencias en la velocidad de germinación entre los métodos de almacenamiento evaluados. El método en vidrio presentó el mayor índice de velocidad de germinación (5,91), ubicándose en un subconjunto homogéneo distinto, lo que indica un efecto favorable sobre la rapidez del proceso germinativo.

Por otro lado, los métodos de almacenamiento en papel (5,59) y plástico (5,66) no presentaron diferencias estadísticas significativas entre sí, agrupándose en un mismo subconjunto homogéneo.

Cuadro 3. 11. Comparación de medias según el tiempo de almacenamiento (Duncan, $\alpha = 0.05$).

Velocidad de Germinación: Tiempo			
Duncan ^b			
Tiempo	N	Subconjunto	
		1	2
90 días	48	5,36	
180 días	48	5,37	
30 días	48		6,44
Sig.		0,95	1,00

Los resultados de la prueba de Duncan al 5% de significancia muestran que el tiempo de almacenamiento influye en la velocidad de germinación de las semillas. El tratamiento correspondiente a 30 días alcanzó el mayor valor promedio (6,44), conformando un grupo independiente, lo que refleja una mayor rapidez en la emergencia de las plántulas.

En contraste, los tratamientos de 90 días (5,36) y 180 días (5,37) presentan valores similares y no difieren estadísticamente entre sí, agrupándose dentro del mismo subconjunto homogéneo.

Estos resultados sugieren que el incremento en el tiempo de almacenamiento tiende a disminuir la velocidad de germinación, afectando el vigor de las semillas.

3.2.3. Energía germinativa

El efecto de los métodos de almacenamiento sobre la energía germinativa de las semillas de las cuatro especies forestales fue evaluado considerando el porcentaje de semillas germinadas en el periodo de máxima germinación. Este análisis se realizó bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial, cuyos resultados del análisis de varianza se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 3. 12 .Análisis de varianza de la energía germinativa.

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	F calc	Sig.	F tab 5%	F tab 1%
Repeticion	27,63	3	9,21	0,07	NS	2,69	3,97
Especie	27464,47	3	9154,82	73,11	* *	2,69	3,97
Método	666,34	2	333,17	2,66	NS	3,08	4,81
Tiempo	858,18	2	429,09	3,42	*	3,08	4,81
Especie *							
Método	4588,65	6	764,77	6,10	* *	2,18	2,97
Especie *							
Tiempo	4652,15	6	775,35	6,19	* *	2,18	2,97
Método *							
Tiempo	3445,56	4	861,39	6,87	* *	2,45	3,50
Especie *							
Método *	7583,09	12	631,92	5,04	* *	1,84	2,35
Tiempo							
Error experimental	13147,86	105	125,21				
Total, corregido	62433,97	143					

Los resultados del análisis de varianza determinaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$) para el factor especie ($F = 73,11$), indicando que la energía germinativa presentó diferencias entre las especies forestales evaluadas. El factor tiempo presentó diferencias significativas ($F = 3,42$), demostrando influencia del periodo de almacenamiento sobre la energía germinativa, mientras que el método de almacenamiento no mostró diferencias significativas ($F = 2,66$).

Las interacciones especie $\times$ método ($F = 6,10$), especie $\times$ tiempo ($F = 6,19$), método $\times$ tiempo ($F = 6,87$) y especie $\times$ método $\times$ tiempo ($F = 5,04$) resultaron altamente significativas ($p \leq 0,01$), evidenciando diferencias en la respuesta germinativa según la combinación de los factores evaluados. Por otro lado, las repeticiones no presentaron diferencias significativas ($F = 0,07$).

Cuadro 3.13. Comparación de medias entre especies (Duncan, $\alpha = 0.05$).

Energía germinativa: Especies					
Duncan ^b					
Especie	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
Algarrobo	36	41,89			
Tara	36		52,69		
Molle	36			63,00	
Jarca	36				79,36
Sig.		1,00	1,00	1,00	1,00

Al comparar las especies Jarca y Algarrobo, se obtuvo una diferencia de medias de 37,47 % valor que supera la diferencia mínima significativa establecida por la prueba de Tukey, indicando diferencias significativas en la energía germinativa entre ambas especies. En este sentido, Jarca presentó mayor vigor germinativo en comparación con Algarrobo.

Cuadro 3.14. Comparación de medias según métodos de almacenamiento (Duncan, $\alpha = 0.05$).

Energía germinativa: Métodos			
Duncan ^b			
Métodos	N	Subconjunto	
		1	2
Papel	48	56,35	
Plástico	48	59,83	59,83

Vidrio	48		61,52
Sig.		0,131	0,462

La comparación de medias entre métodos de almacenamiento indica que el tratamiento en vidrio registró el mayor valor de energía germinativa 61,52%. Sin embargo, los métodos papel 56,35% y plástico 59,83% no presentaron diferencias significativas, lo que sugiere que el tipo de almacenamiento no ejerce un efecto determinante sobre el comportamiento germinativo de las semillas.

Cuadro 3. 15.Comparación de medias según el tiempo de almacenamiento (Duncan, $\alpha = 0.05$).

Energía germinativa: Tiempo			
Duncan ^b			
Tiempo	N	Subconjunto	
		1	2
180 días	48	57,44	
90 días	48	57,58	
30 días	48		62,69
Sig.		0,949	1,000

La comparación de medias para los tiempos de almacenamiento mostró que a los 30 días se obtuvo el mayor porcentaje de energía germinativa con 62,69 %, diferenciándose de los periodos de 90 días y 180 días, que registraron 57,58 % y 57,44 %, respectivamente, sin presentar diferencias significativas entre sí. Estos resultados indican que periodos cortos de almacenamiento favorecen una mayor capacidad germinativa de las semillas.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Se determinó que las semillas de las cuatro especies forestales evaluadas presentaron una alta calidad física, evidenciada por porcentajes de pureza superiores al 90 %, lo que permitió garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos en los ensayos experimentales.
- El porcentaje de germinación mostró variaciones significativas entre especies, lo que confirma que la viabilidad está estrechamente relacionada con las características fisiológicas propias de cada una. En este sentido, la especie *Acacia visco* (Jarca) destacó por su mayor capacidad germinativa con un promedio de 97,56%, mientras que *Prosopis alba* (Algarrobo blanco) registro un promedio de 82,89% de germinación.
- El índice de velocidad de germinación (IVG) presentó diferencias altamente significativas entre especies, métodos y tiempos de almacenamiento, lo que indica que la rapidez del proceso germinativo depende tanto de factores genéticos como de las condiciones de conservación. La especie jarca registró los valores más altos, reflejando un mayor vigor fisiológico.
- La energía germinativa también evidenció diferencias significativas, tanto entre especies como en la interacción de los factores evaluados, lo cual demuestra que el vigor de las semillas está condicionado por la combinación de la especie, el método de almacenamiento y el tiempo de conservación.
- En relación con los métodos de almacenamiento, se concluye que los sistemas herméticos (frasco de vidrio y almacenamiento al vacío) fueron los más eficientes para conservar la calidad fisiológica de las semillas, mientras que el almacenamiento en bolsa de papel a temperatura ambiente resultó ser el menos adecuado debido a su mayor exposición a factores ambientales.

- Se comprobó que el tiempo de almacenamiento influye negativamente en la calidad de las semillas, observándose una disminución progresiva en la germinación, velocidad y energía germinativa a medida que se incrementa el periodo de conservación, como consecuencia del deterioro fisiológico natural.
- El análisis estadístico evidenció la existencia de interacciones significativas entre los factores evaluados, lo que indica que el efecto de un factor depende del nivel de los otros, especialmente en variables como la velocidad y la energía germinativa, reflejando la complejidad del comportamiento fisiológico de las semillas.

4.2. RECOMENDACIONES

- Es recomendable ampliar las investigaciones sobre métodos de conservación de semillas forestales nativas, evaluando diferentes condiciones de temperatura, humedad y tipos de envases, con la finalidad de determinar los sistemas de almacenamiento más eficientes para cada especie.
- Resulta importante aplicar tratamientos pregerminativos adecuados en las semillas forestales, como escarificación mecánica, remojo o tratamientos térmicos, para mejorar el porcentaje de germinación, reducir el tiempo de emergencia y obtener plántulas más uniformes y vigorosas.
- Conviene fortalecer la infraestructura y equipamiento del laboratorio de semillas mediante la adquisición de cámaras germinadoras y otros materiales especializados, que permitan incrementar la precisión de los análisis y el desarrollo de futuras investigaciones.
- Es necesario fortalecer la gestión y el control del banco de germoplasma existente en la Facultad, mediante la aplicación de protocolos adecuados para el manejo, registro, almacenamiento y monitoreo de las semillas, garantizando así una conservación eficiente y organizada del material genético forestal.
- Se recomienda desarrollar programas de monitoreo periódico de la calidad fisiológica y sanitaria de las semillas almacenadas, incorporando pruebas de viabilidad, vigor y sanidad, con el propósito de garantizar material forestal de calidad para programas de reforestación y restauración ecológica.
- Conviene ampliar futuras investigaciones incorporando nuevas especies forestales nativas y evaluando su adaptación a diferentes condiciones de almacenamiento y germinación, con la finalidad de generar información técnica que contribuya a la conservación y propagación de recursos forestales.

