

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La conservación de la biodiversidad es fundamental para mantener la salud y la resiliencia de los ecosistemas forestales. Las semillas son una parte crucial de la conservación de la biodiversidad, ya que contienen la información genética necesaria para la reproducción y el crecimiento de las plantas. El control interno de la calidad de las semillas es esencial para garantizar que las semillas sean viables y de alta calidad, lo que es fundamental para la conservación y el uso sostenible de los recursos forestales.

El control de la calidad de la semilla constituye un pilar fundamental en la producción agrícola y forestal, ya que de él depende en gran medida el éxito del establecimiento de cultivos y la regeneración de ecosistemas. Las semillas de alta calidad aseguran una germinación uniforme, un vigor adecuado y el potencial genético necesario para obtener plantas sanas y productivas. Por esta razón, el monitoreo y la evaluación de las características físicas, fisiológicas, genéticas y sanitarias de las semillas son procesos esenciales dentro de los programas de producción y certificación de semillas (ISTA, 2018; Copeland & McDonald, 2001).

En el caso de especies agrícolas, forestales o silvestres, el control de calidad adquiere matices específicos dependiendo del uso previsto, el origen del material genético y las condiciones ecológicas del sitio de siembra. Este proceso incluye la recolección de muestras representativas, la realización de análisis de laboratorio como pruebas de germinación, viabilidad y pureza y la implementación de normas técnicas que garanticen la trazabilidad y autenticidad del material propagativo (Aguilar et al., 2004; FAO, 2014). De este modo, se busca no solo mejorar el rendimiento y la sostenibilidad de los sistemas productivos, sino también conservar la biodiversidad genética de las especies utilizadas (Bonner, 2008).

El control interno de la calidad de semilla en especies forestales es esencial para garantizar el éxito de los programas de reforestación, restauración ecológica y producción forestal sostenible.

La calidad de la semilla influye directamente en la germinación, el vigor de las plántulas y, en última instancia, en la productividad y salud de los bosques. Según la FAO, la certificación

de semillas forestales busca asegurar la identidad genética y la calidad superior de las semillas, promoviendo su uso en plantaciones comerciales y programas de conservación.

La calidad de la semilla se evalúa a través de diversos componentes: físico, fisiológico, genético y sanitario. El componente físico incluye la pureza analítica, el peso de 1000 semillas y el porcentaje de humedad, que afectan la conservación y el manejo de la semilla. El componente fisiológico abarca la viabilidad, capacidad de germinación y vigor, que determinan el potencial de establecimiento de las plántulas. El componente genético asegura la identidad varietal y la adaptación al sitio de plantación, mientras que el componente sanitario evalúa la presencia de plagas y enfermedades que puedan comprometer la sanidad del lote.

Las técnicas de evaluación de la calidad de la semilla incluyen pruebas de germinación, determinación de humedad, análisis de pureza y pruebas de sanidad. Estas pruebas deben realizarse en condiciones controladas y siguiendo protocolos estandarizados para asegurar resultados confiables. La norma ISO/IEC 17025 establece los requisitos para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, garantizando la validez y precisión de los resultados obtenidos.

En Bolivia, el marco normativo relacionado con la calidad de la semilla forestal está respaldado por el Decreto Supremo N° 23069, que establece la creación del Consejo Nacional de Semillas y regula la certificación y fiscalización de semillas en el país. Además, el Decreto Supremo N° 2454 promueve la conservación y el mejoramiento de los recursos genéticos forestales, incluyendo la gestión de bancos de semillas y la implementación de normas técnicas para su manejo.

La Oficina Nacional de Semillas (OFINASE 1993) en Costa Rica ha implementado prácticas de almacenamiento controlado para especies como la teca y la melina, demostrando que el almacenamiento adecuado puede mantener la viabilidad de la semilla por períodos prolongados. Estas experiencias son valiosas para la implementación de estrategias similares en Bolivia, considerando las condiciones climáticas y ecológicas locales.

El control interno de la calidad de semilla en especies forestales es un aspecto fundamental para el éxito de los proyectos forestales. La implementación de prácticas estandarizadas de evaluación y manejo de la semilla, respaldadas por un marco normativo sólido y adaptadas a

las condiciones locales, contribuirá significativamente a la sostenibilidad y productividad de los ecosistemas forestales en Bolivia.

Marco institucional

Antecedentes

El Centro Especializado Agroforestal en Producción de Plantas - CEAFOR-PP, fue creado mediante la R.R. N° 142/2022 del 31 de marzo de 2022.

“CEAFOR PP, es creado con la necesidad imperiosa de contar con un Banco de Germoplasma Vegetal en la Cuenca del Plata y permita la disponibilidad de material vegetal de alta calidad genética (plantas y semillas). Asimismo, ofertar asesoramiento y asistencia técnica, capacitación e investigación.

Objetivo

Promover la investigación e innovación tecnológica a través de la implementación de un Banco de Germoplasma, permitiendo la producción y plantaciones agroforestales, la prestación de servicios en asesoramiento técnico y la oferta de material vegetal de alta calidad genética.

Objetivos Específicos

- Desarrollar la investigación para el mejoramiento en la producción de plantas y semillas agroforestales.
- Promover la Interacción y capacitación en la producción, plantación y manejo de semillas Agroforestales.
- Ofertar material vegetal de alta calidad genética (plantas y semillas agroforestales), y servicios especializados que permita promover la producción de plantas y el desarrollo de las plantaciones agroforestales.

Áreas

CEAFOR-PP, está compuesto por 2 áreas:

- Área de Producción Agroforestal
- Área de Análisis de Calidad de Semillas

Infraestructura

CEAFOR-PP, cuenta con:

- Laboratorio de Semillas FCyF – UAJMS
- Vivero de Producción CEAFOR - CECH.

Programa

CEAFOR-PP, ofrece su programa de:

“Producción de Plantas a la Demanda”

Institución patrocinadora

El Centro Especializado Agroforestal en Producción de Plantas (CEAFOR-PP), tiene dependencia de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales – UAJMS.

Coordinación con las Carreras de Ingeniería Forestal, Agronomía y Medio Ambiente.

Misión

CEAFOR, tiene la misión de contribuir al desarrollo de la investigación, transferencia de tecnología a través de la producción, asesoramiento especializado, oferta de plantas y semillas agroforestales de alta calidad genética, contribuyendo al proceso de enseñanza y aprendizaje de nuevos profesionales, bajo un liderazgo en el sector agroforestal.

Visión

Ser un centro de referencia en investigación, impulsor del desarrollo tecnológico y dinamizador de la transferencia de resultados al sector agroforestal, a través de la producción, asesoramiento especializado, oferta de plantas y semillas agroforestales de alta calidad genética.

Propulsor de las plantaciones agroforestales en nuestro país.

Planteamiento del problema

La falta de control interno de la calidad de las semillas recolectadas no pasa por procesos sistemáticos de evaluación, clasificación y certificación, lo que puede tener consecuencias negativas para la conservación y germinación de las plántulas producidas. Esta situación repercute negativamente en los proyectos de reforestación, ya que incrementa el riesgo de

fracaso en la restauración de ecosistemas y el aprovechamiento sostenible de las especies nativas.

A pesar de que existen normas técnicas y metodologías para el control de calidad de semillas forestales, su aplicación efectiva en el ámbito local aún es limitada, debido a deficiencias en infraestructura, capacitación técnica y seguimiento institucional.

Ante esta problemática, surge la necesidad de evaluar y fortalecer los mecanismos internos de control de calidad de semilla forestal, con el fin de garantizar la viabilidad, pureza y vigor de semillas de especies forestales nativas representativas de la región.

Árbol del problema

Problema central

Deficiente control interno de la calidad de semilla de especies forestales nativas en el valle central de Tarija.

¿Qué efecto tiene los métodos y tiempos de almacenamiento sobre la calidad fisiológica de especies forestales nativas del valle central de Tarija?

Variable independiente: métodos y tiempos de almacenamiento.

Variable dependiente: calidad fisiológica de las semillas.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto en la calidad fisiológica de semillas de tres especies forestales, Chañar (*Geoffroea decortican* (Hook. & Arn.) Burkart), Tipa blanca (*Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze) Tarco (*Jacaranda mimosifolia* D. Don), expuestas a diferentes métodos de almacenamiento en laboratorio.

Objetivos Específicos

- Determinar el contenido de humedad inicial y final de las semillas de las tres especies antes y después del almacenamiento, con el fin de establecer su relación con la pérdida de viabilidad.
- Determinar el efecto de los métodos de almacenamiento en la calidad de las semillas de Chañar (*Geoffroea decortican* (Hook. & Arn.) Burkart), Tipa blanca (*Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze) Tarco (*Jacaranda mimosifolia* D. Don).

- Determinar la eficiencia de los métodos de almacenamiento para mantener la calidad de semilla.
- Determinar la viabilidad de las semillas de las tres especies forestales mediante pruebas de germinación periódicas en la cámara germinadora del laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.

CAPÍTULO I
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Definición y clasificación de semillas

1.1.1 Definición de semillas

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) define a las semillas como todo material de propagación utilizado para la siembra y producción de cultivos, incluyendo no solo las semillas botánicas en sentido estricto, sino también otros órganos de propagación vegetativa como tubérculos, estacas, rizomas y plántulas (FAO,1993).

En términos más específicos, la FAO considera que una semilla es la unidad botánica que contiene un embrión viable y que, bajo condiciones ambientales favorables, es capaz de dar origen a una nueva planta, garantizando así la continuidad genética y productiva de las especies vegetales. Además, se la concibe como un insumo agrícola estratégico, dado que de su calidad depende directamente el rendimiento, la resistencia a plagas y enfermedades, así como la adaptación a condiciones climáticas adversas (FAO,2014).

La FAO resalta que las semillas no solo tienen importancia biológica y ecológica, sino también económica y social, pues constituyen la base de la seguridad alimentaria, la mejora de cultivos y la conservación de la biodiversidad agrícola. Asimismo, dentro de sus programas y normativas, la organización establece estándares internacionales para la producción, certificación, intercambio y conservación de semillas, con el fin de asegurar la calidad genética y sanitaria en los sistemas agrícolas (FAO, 2011).

1.1.2 Clasificación de semillas forestales

La FAO propone varias formas de clasificar las semillas forestales, en función de criterios botánicos, fisiológicos y ecológicos. Entre las más relevantes se encuentran:

- Según la fisiología de almacenamiento:

desección, pero con límites en la duración Semillas ortodoxas: son aquellas que toleran la desecación y bajas temperaturas, lo que permite su almacenamiento por

largos periodos en bancos de semillas. Ejemplos: *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus*, *Prosopis alba*.

Semillas recalcitrantes: no resisten la desecación ni el frío extremo, por lo que deben sembrarse poco tiempo después de recolectarse. Se encuentran en especies como *Quercus spp* (Robles), *castanea spp* (Castaño) (Roberts, 1973; FAO, 1995).

Semillas intermedias: presentan características mixtas, soportando cierta del almacenamiento. Ejemplo: *Cedrela odorata L.* (Hong y Ellis, 1996).

- Según el tipo de dispersión natural:

Anemocóricas: dispersadas por el viento (ej. *Tipuana tipu*, *Acer spp.*).

Zoocóricas: dispersadas por animales, ya sea mediante ingestión (endozoocoria) o transporte externo (epizoocoria). Ejemplo: *Prosopis alba*.

Autocóricas: se dispersan por mecanismos propios de la planta, como la dehiscencia explosiva de las leguminosas.

- Según el uso forestal:

Semillas de especies maderables: destinadas a plantaciones para producción de madera (ej. *Pinus spp.*, *Eucalyptus spp.*) (FAO,1995).

Semillas de especies no maderables: orientadas a productos como frutos, gomas, resinas o aceites (ej. *Bertholletia excelsa* - castaña amazónica) (FAO,2011).

Semillas de especies de restauración ecológica: utilizadas en programas de conservación de suelos, control de erosión y recuperación de ecosistemas degradados (ej. *Alnus acuminata*, *Inga spp.*) (Lamb y Gilmour, 2003).

- Según el origen genético:

Semillas silvestres: recolectadas directamente de bosques naturales.

Semillas de rodales semilleros: obtenidas de poblaciones seleccionadas para mejorar la calidad genética (Zobel y Talbert, 1995).

1.2. Importancia ecológica y económicas de las semillas forestales

1.2.1 Importancia ecológica

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) reconoce que las semillas forestales constituyen la base de la sostenibilidad de los ecosistemas boscosos, ya que permiten la regeneración natural de los bosques y garantizan la persistencia de la biodiversidad. En sus lineamientos sobre recursos genéticos forestales, la FAO subraya que las semillas representan el principal mecanismo de dispersión y continuidad de las especies forestales, siendo esenciales para mantener la diversidad genética que asegura la resiliencia frente al cambio climático, plagas, enfermedades y perturbaciones antrópicas (FAO, 2014).

Desde una perspectiva ecológica, las semillas forestales son clave para la restauración de ecosistemas degradados. A través de programas de reforestación y manejo de cuencas, la utilización de semillas de especies nativas permite recuperar la cobertura vegetal, estabilizar los suelos y reducir la erosión hídrica y eólica. La FAO señala que la pérdida de diversidad de semillas limita la capacidad de los bosques para adaptarse a condiciones ambientales cambiantes, lo que hace urgente la conservación in situ y ex situ de germoplasma forestal (FAO, 2021).

1.2.2 Importancia económica

En el ámbito económico, la FAO considera que las semillas forestales son la materia prima fundamental para la producción forestal sostenible, ya que de ellas depende la calidad de las plantaciones comerciales y de los programas de reforestación productiva. Las semillas de especies forestales de alto valor (como teca, eucalipto, pino, caoba, entre otras) representan un recurso estratégico para generar madera, resinas, fibras, aceites esenciales, frutos y otros productos forestales no maderables. Según la FAO (2014), la disponibilidad de semillas de calidad impacta directamente en el crecimiento, productividad y rentabilidad de los sistemas forestales.

El comercio internacional de semillas forestales constituye un mercado relevante, especialmente en programas de forestación masiva en países en desarrollo. La FAO

promueve la certificación y estandarización de semillas para garantizar trazabilidad y calidad, evitando la introducción de materiales genéticos inadecuados que puedan reducir la productividad a largo plazo. A nivel local, el acceso a semillas forestales de calidad permite a comunidades rurales desarrollar proyectos de reforestación comunitaria, agroforestería y silvicultura, generando empleos y contribuyendo a la seguridad alimentaria y energética (FAO, 2011).

Asimismo, la FAO enfatiza que las semillas forestales representan una inversión de bajo costo y alto retorno económico: una pequeña cantidad puede originar miles de plántulas, lo que significa un capital productivo para décadas en términos de madera, carbono capturado o productos secundarios. Además, en un contexto de cambio climático, las semillas forestales son un seguro económico, pues permiten seleccionar materiales adaptados a nuevas condiciones ambientales, reduciendo pérdidas y aumentando la resiliencia de la producción forestal (FAO, 2014).

1.3 Características morfológicas relevantes de las semillas forestales

Las características morfológicas son aquellas que se relacionan con la forma, estructura externa e interna de la semilla. Estas propiedades permiten identificar especies, clasificar las semillas y comprender su comportamiento durante la germinación y almacenamiento (Bewley y Black, 1994).

1.3.1 Tamaño y forma

Las semillas forestales presentan una gran variabilidad, desde semillas muy pequeñas (ej. alisos y eucaliptos) hasta semillas grandes y pesadas (ej. caoba o algarrobo). El tamaño y la forma influyen en la dispersión natural (por viento, agua o animales) y en la densidad de siembra en viveros (Niembro, 1988; FAO, 1995).

1.3.2 Color y textura del tegumento

El tegumento (cáscara) puede ser duro, liso, rugoso o quebradizo, y sus características están relacionadas con la protección contra patógenos e insectos, así como con la resistencia a la desecación. En especies como *Prosopis* (chañar, algarrobo) el tegumento duro constituye una barrera mecánica a la germinación.

1.3.3 Peso y densidad

El peso de mil semillas (PMS) es un parámetro clave en silvicultura. Semillas pesadas suelen tener más reservas y, por ende, mayor probabilidad de establecimiento en campo, aunque también menor dispersión natural.

1.3.4 Estructuras accesorias

Muchas semillas forestales presentan alas, arilos o pelos que facilitan su dispersión. Ejemplo: las semillas de tipa blanca (*Tipuana tipu*) poseen un ala que favorece la diseminación por viento.

1.3.5 Embrión y reservas

La morfología interna incluye la forma del embrión y el tipo de tejido de reserva (endospermo o cotiledones). Estas estructuras son decisivas para la viabilidad y el vigor de la semilla.

1.4 Características fisiológicas relevantes de las semillas forestales

Las características fisiológicas se refieren a los procesos internos y vitales que determinan el comportamiento de la semilla durante la germinación, almacenamiento y viabilidad.

1.4.1 Viabilidad y longevidad

La viabilidad indica la capacidad de la semilla para germinar y producir una plántula normal. Según la FAO, la longevidad varía según la especie: semillas ortodoxas (pinos, eucaliptos) toleran la desecación y se pueden conservar por largos períodos, mientras que semillas recalcitrantes (cedros, laureles) pierden viabilidad rápidamente si se almacenan en condiciones secas o frías (FAO. 2008).

1.4.2 Dormancia

Muchas semillas forestales presentan dormancia fisiológica o mecánica, un mecanismo que evita la germinación inmediata después de la dispersión. Esta característica asegura la supervivencia de la especie al permitir que la germinación ocurra solo bajo condiciones favorables (Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2001)).

1.4.3 Tolerancia a la desecación y temperatura

Las semillas ortodoxas resisten la pérdida de humedad y pueden almacenarse en cámaras frías (–18 °C a 5 °C), mientras que las recalcitrantes requieren ambientes con alta humedad y temperaturas suaves, ya que mueren al desecarse (FAO. 2008; Roberts, E.H. 1973).

1.4.4 Velocidad y porcentaje de germinación

Factores fisiológicos como la respiración, la permeabilidad del tegumento y la actividad enzimática determinan cuán rápido y en qué proporción germina un lote de semillas. Esto se mide en pruebas de laboratorio según normas ISTA y FAO (ISTA. 2020; Bewley, J.D, y Black, M. 1994)

1.4.5 Metabolismo de reserva

Durante la germinación, las semillas movilizan carbohidratos, lípidos y proteínas acumulados en cotiledones o endospermo. La eficiencia de este proceso es clave para producir plántulas vigorosas (Gonzalez, L. y Martinez, S. 2010; Bonner, F.T).

1.5 Calidad fisiológica de las semillas forestales

1.5.1 Calidad fisiológica

La calidad fisiológica de una semilla se refiere al conjunto de atributos internos que determinan su capacidad para germinar y producir plántulas vigorosas bajo condiciones adecuadas de cultivo. Según la FAO y el ISTA, este concepto está vinculado directamente a la viabilidad, vigor, longevidad y capacidad de adaptación de la semilla frente a distintos ambientes (FAO. 2014; ISTA. 2020; Pérez, C. y Torres, D. 2015).

En primer lugar, la viabilidad es el principal componente de la calidad fisiológica. Una semilla viable es aquella cuyo embrión está vivo y es capaz de desarrollarse en una planta normal. Para evaluar este aspecto, se realizan pruebas de germinación en laboratorio bajo condiciones controladas de temperatura, luz y humedad (Baskin, C. C. y BASKIN, J. M. 2001).

Otro parámetro importante es el vigor de la semilla, que hace referencia a la energía y rapidez con la que germina y establece una plántula. Semillas con alto vigor presentan mayor capacidad de sobrevivir en ambientes adversos, resistir al estrés hídrico y establecerse mejor en campo. Este atributo suele diferenciar lotes de semillas que, aunque con similar porcentaje de germinación, muestran rendimientos muy distintos en viveros o plantaciones (Villalobos, A. y Rojas, F. 2018).

La longevidad también forma parte de la calidad fisiológica, y depende de factores genéticos (tipo de especie) y de manejo (condiciones de almacenamiento). Así, las semillas ortodoxas (como pinos y eucaliptos) pueden conservar su viabilidad durante años en cámaras frías, mientras que las recalcitrantes (como cedros y lauráceas) pierden rápidamente su capacidad germinativa.

1.5.2 Componentes de la calidad de semillas

1.5.2.1 Viabilidad

La viabilidad es la capacidad de una semilla de estar viva y, por lo tanto, de iniciar procesos metabólicos que conduzcan al desarrollo de una plántula normal. Una semilla viable no siempre germina de inmediato, ya que puede estar en estado de dormancia, pero mantiene intacto su embrión y sus reservas. Según la FAO (2010), la viabilidad depende de factores genéticos (especie), fisiológicos (estado de madurez) y ambientales (almacenamiento). Se determina a través de pruebas de germinación en laboratorio o con métodos bioquímicos como la prueba de tetrazolio.

1.5.2.2 Vigor

El vigor de la semilla hace referencia a la energía, rapidez y uniformidad con la que una semilla germina y establece una plántula bajo condiciones tanto favorables como desfavorables. Mientras la viabilidad indica si la semilla está viva o muerta, el vigor refleja qué tan fuerte y eficiente será su desempeño en campo o vivero. Semillas con alto vigor producen plántulas más resistentes al estrés hídrico, salino o a enfermedades, mientras que semillas de bajo vigor suelen generar plántulas débiles y desformes (ISTA, 2020).

1.5.2.3 Capacidad germinativa

La capacidad germinativa es el porcentaje de semillas que germinan en condiciones óptimas de laboratorio dentro de un lote. Es uno de los indicadores más utilizados para medir la calidad fisiológica. Una alta capacidad germinativa refleja que la mayoría de las semillas están vivas y en condiciones de desarrollar plántulas normales. Sin embargo, no siempre garantiza buen rendimiento en campo, ya que este parámetro no considera factores externos como suelo, clima o manejo en vivero (Piotto et al., 2001).

1.5.2.4 Sanidad

La sanidad de las semillas corresponde a su estado fitosanitario, es decir, la ausencia o presencia de patógenos (hongos, bacterias, virus) o plagas (insectos) que puedan afectar su viabilidad, germinación o vigor. Una semilla infectada puede transmitir enfermedades al vivero o a la plantación, reduciendo la productividad y aumentando los costos de manejo. La FAO (1995) enfatiza la importancia de realizar análisis fitosanitarios para detectar patógenos asociados a las semillas forestales y aplicar tratamientos preventivos (desinfección, fungicidas, almacenamiento adecuado).

1.5.3. Factores que afectan la calidad fisiológica de las semillas

1.5.3.1. Factores genéticos

Los factores genéticos están relacionados con el origen y la base hereditaria de la semilla. Cada especie posee un potencial fisiológico distinto, y dentro de la misma especie existen variaciones según la procedencia, población o incluso árbol madre. Semillas recolectadas de árboles con buen crecimiento, adaptación y resistencia tienden a producir plántulas vigorosas y longevas. Por el contrario, semillas de poblaciones degradadas o con baja variabilidad genética muestran menor capacidad germinativa y viabilidad (FAO, 1995).

1.5.3.2. Factores ambientales

Son aquellos relacionados con las condiciones del ambiente en que se desarrollan y almacenan las semillas. La calidad fisiológica depende fuertemente del clima durante la floración y maduración, así como de las condiciones de almacenamiento. Sequías,

heladas o exceso de lluvia pueden afectar la formación del embrión y las reservas. Durante el almacenamiento, la temperatura y la humedad relativa son críticas: semillas ortodoxas toleran desecación y frío, mientras que las recalcitrantes pierden rápidamente viabilidad si se exponen a ambientes secos o fríos (FAO, 2010).

1.5.3.3. Factores fisiológicos

Se refieren al estado interno y metabólico de la semilla en el momento de la cosecha y durante su conservación. Semillas inmaduras, con bajo contenido de reservas o con embriones poco desarrollados presentan menor germinación. Asimismo, el envejecimiento natural reduce gradualmente el vigor y la viabilidad. El metabolismo de respiración y la actividad enzimática determinan cuánto tiempo puede mantenerse la semilla viable en condiciones de almacenamiento (Bonner, 2008).

1.5.3.4. Factores mecánicos

Son los daños ocasionados a la semilla por manejo inadecuado durante la cosecha, transporte, procesamiento y almacenamiento. Golpes, fricciones, cortes o aplastamientos pueden dañar el embrión, romper el tegumento o reducir las reservas. También influyen prácticas como el mal secado, el uso de maquinaria inadecuada o la limpieza agresiva. Estos daños disminuyen el vigor, aumentan la susceptibilidad a patógenos y reducen la capacidad germinativa (Piotto et al., 2001).

1.6 Fisiología de las semillas

La fisiología de las semillas es la rama de la biología que estudia los procesos vitales y metabólicos que ocurren desde la formación del embrión hasta la germinación y establecimiento de la plántula. Incluye la comprensión de cómo la semilla mantiene su viabilidad, cómo moviliza sus reservas, cómo responde a factores ambientales y cómo se produce el deterioro durante el almacenamiento.

La fisiología determina la capacidad germinativa y el vigor de la semilla, atributos fundamentales para el éxito de programas de reforestación y producción forestal. Por ejemplo, semillas ortodoxas, como las de pino y eucalipto, pueden tolerar desecación y permanecer viables durante años en cámaras frías, mientras que semillas

recalcitrantes, como las de cedro o aliso, presentan metabolismo activo incluso durante el almacenamiento, lo que las hace muy sensibles a cambios de humedad y temperatura (FAO, 2010).

El estudio de la fisiología de las semillas permite identificar lotes de alta calidad, seleccionar métodos de conservación adecuados, y diseñar estrategias de reforestación más eficientes. Además, analiza fenómenos como la dormancia, los mecanismos de deterioro y la activación metabólica durante la germinación, esenciales para comprender cómo maximizar el rendimiento de las semillas en viveros y plantaciones (Piotto et al., 2001).

1.6.1. Estructura interna y sus funciones

La semilla está formada principalmente por tres estructuras internas: tegumento, embrión y tejido de reserva (cotiledones o endospermo).

- **Tegumento:** Es la cubierta externa que protege a la semilla de daños mecánicos, ataques de patógenos y pérdida de agua. Su espesor y dureza varían según la especie, influyendo en la permeabilidad al agua y gases y en la germinación.
- **Embrión:** Es la estructura viva que dará origen a la plántula. Contiene la plúmula (futura parte aérea), la radícula (futura raíz) y, en algunas especies, la hipocótilo. La integridad del embrión es esencial para la viabilidad y vigor de la semilla.
- **Tejidos de reserva:** Incluyen cotiledones y endospermo, que almacenan carbohidratos, proteínas y lípidos. Estos nutrientes son movilizados durante la germinación para alimentar al embrión hasta que la plántula desarrolla hojas y raíces funcionales.

Cada una de estas estructuras cumple un rol vital: el tegumento asegura protección y dormancia, el embrión determina la viabilidad, y los tejidos de reserva suministran la energía necesaria para la germinación y el establecimiento inicial de la plántula (Bonner, 2008).

1.6.2 Procesos metabólicos durante la maduración

Durante la maduración de la semilla, ocurren cambios fisiológicos y bioquímicos que determinan su viabilidad y capacidad de almacenamiento. Inicialmente, el embrión se desarrolla y los tejidos de reserva acumulan almidón, proteínas y lípidos, que funcionarán como fuente de energía durante la germinación.

Simultáneamente, disminuye el contenido de agua y se desarrollan mecanismos de tolerancia a la desecación en semillas ortodoxas. Se producen además síntesis de enzimas, antioxidantes y proteínas protectoras, que protegen al embrión frente al estrés oxidativo y al envejecimiento. En semillas recalcitrantes, estos mecanismos son insuficientes, lo que limita su conservación prolongada (FAO, 2010).

Los procesos metabólicos incluyen respiración celular, almacenamiento de energía y activación de vías antioxidantes. La respiración disminuye progresivamente a medida que la semilla alcanza la madurez fisiológica, momento en el cual se puede cosechar y almacenar con mínima pérdida de viabilidad.

1.6.3 Mecanismos de deterioro de las semillas

El deterioro es el proceso por el cual la semilla pierde viabilidad y vigor durante el almacenamiento o antes de la germinación. Entre los principales mecanismos destacan:

- Envejecimiento fisiológico: pérdida progresiva de energía, alteración de membranas y acumulación de productos de oxidación.
- Daños mecánicos: fracturas en el tegumento o embrión que facilitan la desecación o infección.
- Ataque de patógenos y plagas: hongos, bacterias e insectos pueden consumir reservas y destruir el embrión.
- Estrés ambiental: cambios de humedad y temperatura aceleran la pérdida de vigor y la germinación precaria (Piotto et al., 2001).

1.6.4 Dormancia y mecanismo de las semillas

1.6.4.1 Dormancia

La dormancia es un estado en el cual la semilla no germina incluso bajo condiciones favorables. Es un mecanismo adaptativo que asegura que la germinación ocurra en el momento más adecuado para la supervivencia. La FAO (2010) distingue varios tipos:

- Dormancia física: tegumento impermeable que impide la entrada de agua.
- Dormancia fisiológica: presencia de inhibidores químicos en el embrión que bloquean la germinación.
- Dormancia combinada: mezcla de dormancia física y fisiológica.

La dormancia permite a las especies forestales sincronizar la germinación con estaciones favorables, evitando pérdidas por sequía, heladas o competencia intensa.

1.6.4.2. Mecanismos de superación

Existen métodos para romper la dormancia y garantizar la germinación:

- Escarificación: rompe o debilita el tegumento impermeable mediante tratamientos mecánicos, térmicos o químicos.
- Estratificación: exposición a condiciones frías y húmedas que activa el metabolismo del embrión.
- Tratamientos hormonales: aplicación de giberelinas o ácido indolacético para neutralizar inhibidores fisiológicos.
- Combinaciones de métodos: en semillas con dormancia combinada, se usan estrategias mecánico-fisiológicas para lograr germinación (FAO, 2010; Bonner, 2008).

1.7. Métodos de almacenamiento de semillas forestales

El almacenamiento de semillas forestales tiene como objetivo conservar la viabilidad, el vigor y la capacidad germinativa durante el tiempo necesario hasta su uso en viveros o programas de reforestación. La elección del método depende del tipo de semilla (ortodoxa o recalcitrante) y de las condiciones ambientales disponibles.

1.7.1 Almacenamiento a corto plazo

Duración: días a pocos meses.

Condiciones: ambiente fresco, seco y ventilado.

Uso: semillas recién recolectadas que se utilizarán pronto.

Características: se debe evitar humedad excesiva y calor que puedan activar el metabolismo de la semilla y acelerar el deterioro.

Ejemplo: semillas de pino recolectadas y conservadas en bolsas de papel en lugares frescos hasta la siembra.

1.7.2 Almacenamiento a mediano y largo plazo

Duración: Meses a años.

Condiciones: Control de humedad, temperatura y oxígeno.

Semillas ortodoxas: Se desecan a bajo contenido de humedad (generalmente 5–8%) y se almacenan en frío (-5°C a -20°C). Este método permite mantener la viabilidad por años.

Semillas recalcitrantes: No toleran desecación ni bajas temperaturas. Se almacenan en condiciones húmedas y frescas ($4-15^{\circ}\text{C}$) y se deben usar rápidamente.

Uso: Conservación de bancos de germoplasma y programas de reforestación a gran escala.

1.7.3 Almacenamiento en cámara de semillas o bancos de germoplasma

Se utilizan cámaras frigoríficas con control de humedad relativa (15–25%) y temperatura (-18°C a 5°C) para semillas ortodoxas.

Los bancos de germoplasma permiten preservar la diversidad genética de especies forestales, asegurando la disponibilidad de semillas de calidad para restauración y producción forestal futura (FAO, 2010).

1.7.4 Almacenamiento bajo condiciones naturales

Algunas semillas, especialmente recalcitrantes, se mantienen en condiciones de arena húmeda o vermiculita, a temperatura controlada, evitando desecación y estrés ambiental.

También se utilizan tratamientos previos como desinfección y limpieza para reducir pérdidas por hongos o insectos.

1.7.5 Principios básicos del almacenamiento de semillas

Para que las semillas mantengan su viabilidad y vigor, el almacenamiento debe basarse en algunos principios fundamentales:

1.7.5.1 Control de humedad:

La humedad es el factor más crítico. Semillas ortodoxas deben desecarse antes del almacenamiento; el exceso de humedad acelera la respiración, el envejecimiento y la proliferación de hongos.

1.7.5.2 Control de temperatura:

Temperaturas bajas reducen la actividad metabólica de la semilla y ralentizan el deterioro. Sin embargo, semillas recalcitrantes son sensibles al frío y pueden dañarse si se almacenan a temperaturas muy bajas.

1.7.5.3 Protección contra patógenos e insectos:

Las semillas deben estar limpias y, de ser necesario, sometidas a tratamientos fitosanitarios antes de almacenarlas. Esto evita la pérdida de calidad por hongos, bacterias o insectos.

1.7.5.4 Empleo de envases adecuados:

Bolsas de papel, sacos de yute, contenedores herméticos o frascos con desecantes, según el tipo de semilla y duración del almacenamiento. Los envases deben permitir control de humedad y evitar daños mecánicos (FAO, 2014).

1.7.5.5 Mantenimiento de la pureza genética:

Las semillas almacenadas deben conservar las características de la especie y del árbol progenitor, evitando mezclas que comprometan la calidad genética del germoplasma (FAO, 2014).

1.7.5.6 Registro y rotación:

Se debe llevar un control detallado de fechas de recolección, contenido de humedad, temperatura y pruebas periódicas de viabilidad para asegurar la efectividad del almacenamiento (ISTA, 2023).

1.8 Clasificación de las semillas según comportamiento frente al almacenamiento

Las semillas forestales se clasifican en función de su tolerancia a la desecación y al frío, lo cual determina la forma en que pueden almacenarse y conservar su viabilidad y vigor. Esta clasificación es fundamental para diseñar estrategias de reforestación, bancos de germoplasma y conservación de especies (Roberts, 1973).

1.8.1 Semillas ortodoxas

Definición: Son semillas que pueden desecarse hasta bajos contenidos de humedad y soportar bajas temperaturas sin perder viabilidad. Esto las hace aptas para almacenamiento prolongado en bancos de semillas (Hong y Ellis, 1996).

Características principales:

Soportan desecación a menos del 8% de humedad.

Resistentes a bajas temperaturas (−18 °C o incluso menos).

Pueden almacenarse por años manteniendo la viabilidad y vigor.

Su metabolismo se reduce al mínimo durante el almacenamiento.

Ejemplos: Pino (*Pinus spp.*), Eucalipto (*Eucalyptus spp.*), Roble (*Quercus spp.*)

Consideraciones prácticas:

Se deben desecar cuidadosamente antes de almacenar.

Ideales para bancos de germoplasma y reforestaciones a largo plazo.

Mantener en envases secos y herméticos para evitar absorción de humedad (FAO, 2010).

1.8.2 Semillas recalcitrantes

Definición: Son semillas que no toleran desecación ni bajas temperaturas, por lo que su almacenamiento prolongado es muy limitado. Se caracterizan por mantener un metabolismo activo incluso después de la dispersión.

Características principales:

Muy sensibles a la desecación: perder menos del 30–40% de humedad puede causar mortalidad.

No resisten temperaturas bajas; el frío puede dañarlas irreversiblemente.

Metabolismo activo durante el almacenamiento, lo que provoca envejecimiento rápido.

Vida útil corta; generalmente deben sembrarse poco después de la recolección.

Ejemplos: Cedro (*Cedrela spp.*), Aliso (*Alnus acuminata*), Lauráceas (ej. *Persea spp.*)

Consideraciones prácticas:

Se conservan en cámaras húmedas y frescas (4–15 °C) o en sustratos húmedos como arena o vermiculita (FAO, 2014).

1.8.3 Semillas intermedias

Definición: Son semillas con características entre ortodoxas y recalcitrantes, que toleran cierta desecación y frío, pero con limitaciones para almacenamiento prolongado.

Características principales:

Pueden desecarse parcialmente, pero no tanto como las ortodoxas.

Sensibles al frío extremo; temperaturas muy bajas pueden dañar la semilla.

Viven más que las recalcitrantes, pero menos que las ortodoxas.

Requieren condiciones controladas de humedad y temperatura durante almacenamiento.

Ejemplos: Mango (*Mangifera indica*, especie frutal forestal), Aguacate (*Persea americana*).

Algunas especies tropicales de árboles maderables.

Consideraciones prácticas:

Requieren almacenamiento temporal en condiciones cuidadosamente controladas.

Útiles en viveros y programas de reproducción a mediano plazo, pero no aptas para bancos de germoplasma de larga duración.

Ortodoxas: almacenamiento prolongado, bancos de germoplasma.

Recalcitrantes: uso inmediato, almacenamiento temporal en condiciones húmedas y frescas.

Intermedias: almacenamiento controlado por tiempo limitado.

1.9 Métodos de almacenamiento de semillas en laboratorio

El almacenamiento en laboratorio busca conservar la viabilidad, vigor y capacidad germinativa de semillas durante el tiempo necesario para investigación, reproducción o conservación genética. La elección del método depende del tipo de semilla (ortodoxa, recalcitrante o intermedia) y de la duración del almacenamiento (FAO, 1995; Roberts, 1973).

1.9.1 Almacenamiento a temperatura ambiente

Definición: Conservación de semillas bajo condiciones ambientales normales de laboratorio (aproximado. 20–25 °C), sin control estricto de temperatura ni humedad (Copeland y Mc.Donald, 2001).

Características:

Duración limitada, generalmente de días a pocos meses.

Adecuado para semillas recalcitrantes que no toleran frío intenso ni desecación extrema.

Requiere envases ventilados para evitar acumulación de humedad y proliferación de hongos (FAO, 1995).

Ventajas:

Bajo costo y simplicidad.

Acceso rápido a las semillas para experimentos o siembra.

Limitaciones:

No recomendado para almacenamiento prolongado; la viabilidad disminuye rápidamente en semillas sensibles.

Mayor riesgo de deterioro por humedad, plagas o microorganismos.

1.9.2 Refrigeración

Definición: Almacenamiento de semillas a temperaturas bajas, generalmente entre 0 °C y 10 °C, con control de humedad relativa (FAO, 2014; Pérez y Torres, 2015).

Características:

Reduce la actividad metabólica y la respiración de la semilla.

Ideal para semillas ortodoxas y algunas intermedias para almacenamiento temporal o mediano plazo (Roberts, 1973; FAO, 2008).

La humedad de la semilla debe controlarse antes del almacenamiento; exceso de agua puede provocar daños por hielo.

Ventajas:

Extiende la vida útil de semillas ortodoxas hasta varios años.

Control más seguro frente a deterioro por microorganismos (ISTA, 2020; FAO, 2014).

Limitaciones:

Semillas recalcitrantes pueden sufrir daños por frío.

Requiere equipo de refrigeración y monitoreo de humedad (Roberts, 1973; FAO, 2014).

1.9.3 Congelación

Definición: Almacenamiento de semillas a temperaturas muy bajas, típicamente -18°C a -196°C (en nitrógeno líquido), para conservación a largo plazo (FAO, 2008; Bonner y Vozzo, 1990).

Características:

Detiene casi por completo los procesos metabólicos de la semilla.

Usado principalmente en bancos de germoplasma para especies ortodoxas.

Se requiere pre-dsecación adecuada de la semilla; las semillas recalcitrantes no toleran congelación (FAO, 2008; ISTA, 2020).

Ventajas:

Mantiene la viabilidad y vigor durante décadas si se cumplen condiciones de humedad y temperatura (Bonner y Vozzo, 1990; FAO, 2014).

Ideal para conservación genética de especies valiosas o amenazadas.

Limitaciones:

Alto costo de infraestructura y mantenimiento.

Riesgo de daño por congelación si no se controla la humedad antes del almacenamiento (Pérez y Torres, 2015; ISTA, 2020).

1.9.4 Atmósferas controladas

Definición: Conservación de semillas en contenedores donde se regula la composición de gases (O_2 , CO_2 , N_2) y la humedad relativa (Gonzales y Martínez, 2010; FAO, 2014).

Características:

Reduce la oxidación y respiración de la semilla, retrasando el deterioro.

Puede combinarse con refrigeración o congelación para almacenamiento prolongado.

Permite prolongar la vida de semillas sensibles sin afectar su viabilidad (ISTA, 2020; Pérez y Torres, 2015).

Ventajas:

Mayor control sobre el envejecimiento de la semilla.

Reduce la incidencia de hongos y plagas al limitar oxígeno (FAO, 2014; ISTA, 2020).

Limitaciones:

Requiere equipamiento especializado y monitoreo constante.

No todas las especies toleran atmósferas con bajo O₂ o alto CO₂; debe ajustarse según tipo de semilla (Roberts, 1973; Bewley y Black, 1994).

1.10 Humedad relativa (HR) y contenido de humedad (CH)

1.10.1 La humedad relativa (HR)

Es un concepto ambiental que indica la cantidad de vapor de agua presente en el aire en relación con la cantidad máxima que el aire puede contener a una determinada temperatura, expresada en porcentaje (%). Es decir, refleja qué tan saturado está el aire de humedad en comparación con su capacidad máxima. Por ejemplo, una HR del 50 % significa que el aire contiene la mitad de la humedad que podría contener a esa temperatura sin que ocurra condensación.

La humedad relativa es un factor crítico en la fisiología y almacenamiento de semillas, porque influye directamente en la absorción o pérdida de agua de la semilla. Las semillas, al ser materiales higroscópicos, tienden a equilibrar su contenido de agua con la humedad del aire circundante. Si la HR es alta, las semillas pueden absorber humedad, aumentando su actividad metabólica y riesgo de deterioro por hongos o plagas. Por el contrario, si la HR es muy baja, las semillas pueden perder agua excesiva, lo que en especies recalcitrantes puede causar muerte del embrión y pérdida de viabilidad.

En laboratorios y bancos de semillas, controlar la humedad relativa del ambiente es esencial para preservar la viabilidad y vigor de los lotes. Se utilizan cámaras con control de humedad o desecantes para mantener niveles óptimos de HR según el tipo de semilla. Para semillas ortodoxas, una HR baja y estable permite prolongar la vida útil

durante años; mientras que, para semillas recalcitrantes, la HR debe mantenerse moderada para evitar desecación y estrés osmótico.

En síntesis, la humedad relativa es un parámetro ambiental clave que regula el equilibrio hídrico de las semillas, su metabolismo y su longevidad. Comprender y controlar la HR permite diseñar estrategias adecuadas de almacenamiento y manejo, reduciendo pérdidas fisiológicas y asegurando la calidad de las semillas para reforestación y conservación genética (FAO, 2010; Bonner, 2008).

1.10.2 Contenido de humedad de la semilla (CH)

El contenido de humedad de la semilla (CH) se refiere al porcentaje de agua presente en una semilla en relación con su peso total, generalmente expresado en porcentaje (%). Este contenido representa la cantidad de agua que la semilla contiene internamente en sus tejidos, incluyendo el embrión y los tejidos de reserva, y es un indicador fundamental de su viabilidad y capacidad de almacenamiento (FAO, 2014; ISTA, 2020).

El CH determina la actividad metabólica de la semilla: semillas con alto contenido de agua tienen metabolismo activo, respiración elevada y mayor riesgo de deterioro; semillas con bajo CH presentan metabolismo reducido y mayor tolerancia al almacenamiento prolongado, especialmente en semillas ortodoxas. Sin embargo, en semillas recalcitrantes, la reducción de CH por debajo de ciertos límites puede causar daños irreversibles al embrión y pérdida de viabilidad (Roberts, 1973; Bewley, 1994).

El CH se mide mediante métodos gravimétricos, como la desecación en estufa a temperatura controlada y posterior determinación de la pérdida de peso, o mediante instrumentos más modernos que utilizan humedad por infrarrojo o capacitancia eléctrica. Mantener un CH adecuado antes y durante el almacenamiento es crucial para garantizar que las semillas conserven su vigor y capacidad germinativa (ISTA, 2020; Gonzales y Martínez, 2010).

En semillas ortodoxas, el CH óptimo suele ser de 5–8 %, permitiendo su conservación en frío durante años. En semillas intermedias, un CH de 15–20 % es adecuado para

almacenamiento temporal. En semillas recalcitrantes, el CH debe mantenerse alto (25–50 %), evitando la desecación excesiva (Bonner y Vozzo, 1990; FAO, 2008).

1.11 Envase y materiales de empaque de semillas forestales

El envase o empaque es el recipiente que contiene las semillas durante su almacenamiento, transporte y distribución, cumpliendo funciones esenciales para proteger la semilla de factores ambientales, mecánicos y biológicos, y garantizar que llegue al vivero o al usuario final con alta viabilidad y vigor (Pérez y Torres, 2015; FAO, 2014).

El envase no solo cumple una función de contención, sino que también permite controlar parámetros críticos como humedad, oxígeno, temperatura y protección contra patógenos. La elección del material adecuado depende del tipo de semilla (ortodoxa, recalcitrante o intermedia), su contenido de humedad y la duración del almacenamiento (FAO, 2008; ISTA, 2020).

1.11.1 Funciones del envase

Protección física: Evita daños mecánicos durante la manipulación, transporte y almacenamiento. Las semillas pueden fracturarse o perder viabilidad si están expuestas a golpes o presión.

Protección ambiental: Minimiza la entrada de humedad o la pérdida de agua, manteniendo el contenido de humedad estable. Protege también contra luz excesiva, polvo y contaminantes químicos.

Protección biológica: Reduce el riesgo de ataque por hongos, bacterias e insectos. Algunos envases permiten combinar el almacenamiento con desecantes o tratamientos fitosanitarios (FAO, 2008; Bewley y Black, 1994).

Facilidad de manejo y etiquetado: Facilita la identificación, el registro de la procedencia, fecha de recolección, especie y otros datos importantes para bancos de germoplasma o viveros (Pérez y Torres, 2015; Gonzales y Martínez, 2010).

1.11.2 Tipos de materiales de empaque

Los materiales de empaque se clasifican según su permeabilidad al aire y al agua, resistencia mecánica y duración (FAO, 2014; ISTA, 2020).

Bolsas de papel o cartón:

Adecuadas para almacenamiento temporal o a corto plazo.

Permiten ventilación y evitan acumulación de humedad.

Uso común en semillas ortodoxas recién cosechadas (FAO, 2014; Pérez y Torres, 2015).

Bolsas de yute o tela:

Buenas para semillas grandes o de manejo rústico.

Permiten circulación de aire, pero deben protegerse de humedad elevada (Bonner y Vozzo, 1990; González y Martínez, 2010).

Envases plásticos herméticos:

Evitan la entrada de humedad y oxígeno.

Ideales para almacenamiento a mediano o largo plazo.

Se combinan con desecantes (sílica gel) para mantener bajo contenido de humedad en semillas ortodoxas.

- Frascos de vidrio o metal:

Para almacenamiento a largo plazo en laboratorios o bancos de germoplasma.

Alta resistencia a plagas y cambios ambientales.

Se puede sellar al vacío o con atmósferas controladas.

- Sacos o contenedores especiales para semillas recalcitrantes:

Mantienen humedad alta y condiciones frescas.

Generalmente combinados con sustratos húmedos como arena o vermiculita.

1.12 Especies forestales de estudio

Descripción botánica:

Tipa blanca

Reino: Vegetal.

Phylum: Telemophytae.

División: Tracheophytae.

Sub división: Anthophyta.

Clase: Angiospermae.

Sub clase: Dicotyledoneae.

Grado Evolutivo: Archichlamydeae.

Grupo de Ordenes: Corolinos.

Orden: Rosales.

Familia: Leguminosae.

Sub familia: Papilionoideae.

Nombre científico: *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze.

Nombre común: Tipa blanca.

Hábito y porte

La tipa blanca es un árbol caducifolio de gran porte, que puede alcanzar entre 15 y 30 metros de altura, con un tronco recto y cilíndrico que llega a tener hasta 1,5 metros de diámetro. Su copa es amplia, extendida, muy frondosa y de forma irregular, con ramas abiertas que proyectan buena sombra, lo que lo hace muy utilizado en alineación urbana y parques (López, 2012; FAO, 2015).

Corteza

La corteza es pardo-grisácea, algo rugosa y fisurada en ejemplares adultos, mientras que en los individuos jóvenes es más lisa y clara (López, 2012; IBI, 2010).

Hojas

Las hojas son compuestas, imparipinnadas, alternas, de entre 15 a 30 cm de longitud, con 7 a 19 folíolos.

Los folíolos son ovados a elípticos, de 3 a 6 cm de largo, con margen entero, ápice redondeado o levemente emarginado.

Son de color verde brillante en el haz y más pálido en el envés.

En época de sequía pueden caer, dejando al árbol sin follaje durante un corto período (Rojas, 2018; López, 2012).

Flores

La tipa blanca florece a fines de primavera e inicios de verano. Sus flores son papilionadas típicas de las Fabaceae, pequeñas, fragantes y muy vistosas, están reunidas en inflorescencias axilares o terminales, en racimos de 10 a 20 flores.

La corola es amarillo-anaranjada, con la estandarte más grande y llamativa, a menudo con vetas rojizas o anaranjadas.

Son muy melíferas y atraen a insectos polinizadores.

Fruto

El fruto es una sámara alada, aplanada y leñosa, de 7 a 12 cm de largo.

Presenta una sola semilla en la base y un ala membranosa desarrollada que facilita su dispersión anemócora (por viento).

Su color es pardo-amarillento al madurar.

Semillas

Las semillas son duras, pequeñas, elípticas aplanadas, de 6 a 10 mm, de color castaño.

Están contenidas en la parte basal de la sámara.

Su cubierta seminal es dura y con testa impermeable, lo que hace necesario aplicar tratamientos pregerminativos (escarificación o remojo en agua caliente) para favorecer la germinación.

Fenología

Floración: entre octubre y diciembre (primavera – inicio de verano en Sudamérica).

Fructificación: desde enero a marzo.

Pérdida de follaje: parcial en invierno o en periodos de sequía intensa (FAO, 2015; Rojas, 2018).

Distribución geográfica

La Tipa blanca (*Tipuana tipu*, Benth. Kuntze), también conocida como palo rosa o simplemente tipa, es una especie arbórea nativa de Bolivia y del noroeste de Argentina. En territorio boliviano su distribución natural abarca principalmente las zonas de Tarija, Chuquisaca, Cochabamba y Santa Cruz, donde se desarrolla en bosques templados húmedos y en la transición hacia la selva montaña. Esta especie se encuentra entre los 500 y 1250 m.s.n.m, adaptándose a suelos profundos, fértiles y con buena humedad, lo que la hace característica del subdistrito fitogeográfico de la tipa y pacará, donde llega a constituir una de las especies dominantes del dosel arbóreo. Además de su valor ecológico, la tipa blanca es apreciada por su madera de alta calidad y como árbol ornamental en ciudades debido a su copa amplia y su vistosa floración amarilla. Su presencia en Bolivia no solo tiene importancia forestal, sino también económica y cultural, pues es empleada en la construcción ligera, carpintería y en programas de reforestación urbana y rural, aportando tanto a la biodiversidad como al bienestar humano (Navarro, 2006; IBI, 2010).

Importancia ecológica y usos

La Tipa blanca (*Tipuana tipu* Benth. Kuntze) tiene una gran relevancia ecológica y múltiples usos que la convierten en una de las especies forestales más valoradas en Bolivia y en el Cono Sur de Sudamérica (IBI, 2010; Rojas, 2018).

Importancia ecológica

La tipa blanca cumple un papel fundamental en la estructura y dinámica de los bosques de selva montana y piedemontana, donde llega a ser especie dominante en el dosel arbóreo. Su copa amplia proporciona sombra y regulación microclimática, lo cual beneficia tanto a la biodiversidad asociada como a las poblaciones humanas que la utilizan en entornos urbanos. Además, al ser una leguminosa, tiene la capacidad de fijar nitrógeno en el suelo, mejorando la fertilidad y favoreciendo el desarrollo de otras especies vegetales en los ecosistemas donde se establece. Sus flores amarillas atraen a una gran diversidad de polinizadores (abejas, aves e insectos), mientras que sus vainas sirven de alimento a diferentes especies de fauna silvestre. En términos de conservación, contribuye a mantener la conectividad de corredores biológicos y a la protección de suelos en laderas y quebradas, reduciendo los procesos erosivos (Lopez, 2012; IBI, 2010).

Usos

Los usos de la tipa blanca son variados y de gran importancia socioeconómica:

Madera: se utiliza en carpintería, ebanistería, chapas, muebles, parquet y en algunos casos para construcción ligera. Su madera es apreciada por ser resistente y de buena textura.

Ornamental y urbano: es ampliamente plantada en plazas, parques y avenidas debido a su porte majestuoso, follaje denso y floración llamativa, convirtiéndose en un árbol emblemático en ciudades como Tarija y Cochabamba.

Reforestación y restauración: es empleada en programas de reforestación por su rápido crecimiento y resistencia, así como en la recuperación de áreas degradadas.

Sombra y confort ambiental: en zonas rurales y urbanas, se aprovecha para sombra en potreros, viviendas y calles, aportando a la mejora del microclima.

Usos menores: algunas comunidades locales la emplean como combustible (leña) y ocasionalmente en medicina tradicional.

En suma, la tipa blanca es una especie clave tanto en términos ecológicos como económicos y culturales, representando un recurso estratégico para la conservación de los bosques y el bienestar de las poblaciones humanas en Bolivia (Rojas, 2018; López, 2012).

Características de sus semillas

Las semillas de la Tipa blanca (*Tipuana tipu* Benth. Kuntze) poseen características morfológicas, fisiológicas y ecológicas que determinan su comportamiento en la naturaleza y en los viveros forestales (López, 2012; Rojas, 2018).

1. Características morfológicas:

Fruto: Es una sámara alada, seca e indehiscente, de color pardo amarillento cuando madura. Tiene un ala alargada que facilita su dispersión por el viento.

Semilla: Se ubica en la parte basal del fruto, protegida por un endocarpio duro. Es de forma ovoide a elíptica, pequeña (5–10 mm), de color marrón claro.

Número De semillas: en promedio, 18.000–22.000 semillas por kilogramo, dependiendo del lugar de procedencia y condiciones de producción (Rojas, 2018; FAO, 2015).

2. Características fisiológicas

Latencia: presentan latencia física debido a la dureza de la testa, lo que dificulta la entrada de agua y retrasa la germinación.

Tratamientos pregerminativos: Se recomienda escarificación mecánica (lijado o corte superficial) o remojo en agua caliente (70–80 °C) durante algunas horas para romper la impermeabilidad de la cubierta.

Viabilidad: En condiciones de almacenamiento fresco y seco, pueden conservar su capacidad germinativa por 1–2 años.

Germinación: Con tratamientos adecuados, las semillas alcanzan entre 60 % y 85 % de germinación en viveros y laboratorios (Bewley y Black, 1994; ISTA, 2020).

3. Características ecológicas

Dispersión: el fruto alado facilita la dispersión anemócora (por viento), lo que permite a la especie colonizar áreas abiertas y suelos perturbados.

Producción abundante: La tipa blanca produce gran cantidad de frutos cada temporada, lo que asegura su regeneración natural.

Rol ecológico: Sus semillas son claves en la regeneración de bosques pedemontanos y montanos, ayudando a la recuperación de zonas degradadas.

En conclusión, las semillas de la tipa blanca son pequeñas, duras y con mecanismos de dispersión aérea, requieren tratamientos pregerminativos para germinar exitosamente, y son fundamentales para la propagación de esta especie en programas de reforestación y manejo forestal sostenible (Rojas, 2018; FAO, 2015).

Estado de conservación y relevancia ecológica

La Tipa blanca (*Tipuana tipu* Benth. Kuntze) es una de las especies forestales más representativas del sur de Bolivia y del noroeste argentino, tanto por su importancia ecológica como por su valor social y económico (IBI, 2010; Navarro, 2006).

Estado de conservación

Actualmente, la tipa blanca no se encuentra catalogada como una especie amenazada a nivel global, ya que posee una amplia distribución natural y se adapta bien a diferentes ambientes, incluyendo zonas urbanas donde se la cultiva como ornamental. Sin embargo, en Bolivia, su estado de conservación local puede verse comprometido por:

Deforestación y cambio de uso de suelo en áreas de piedemonte y valles interandinos, especialmente en Tarija, Chuquisaca y Cochabamba.

Aprovechamiento maderero selectivo, ya que su madera es apreciada en carpintería y construcción ligera.

Expansión agrícola y ganadera, que reduce los fragmentos de bosque donde la especie se desarrolla de forma natural.

Pese a estos factores, la especie mantiene poblaciones relativamente estables debido a su alta producción de semillas, su capacidad de dispersión por viento y su facilidad para establecerse en áreas degradadas, lo que favorece su regeneración natural (Lopez, 2012; Rojas, 2018).

Relevancia ecológica

La tipa blanca cumple funciones ecológicas clave en los ecosistemas de selva montana y piedemontana.

Regeneración natural: Gracias a su abundante fructificación y dispersión anemócora, coloniza rápidamente áreas abiertas o perturbadas.

Mejora del suelo: Como leguminosa, contribuye a la fijación de nitrógeno, enriqueciendo el sustrato y favoreciendo la sucesión vegetal.

Refugio y alimento: Sus flores atraen a polinizadores (abejas, aves e insectos), mientras que sus frutos sirven de recurso alimenticio para diferentes especies de fauna.

Regulación microclimática: Su copa amplia genera sombra y humedad en el suelo, reduciendo la evaporación y creando condiciones más estables para otras plantas.

Protección contra erosión: En laderas y quebradas, sus raíces contribuyen a la estabilidad del suelo, evitando deslizamientos.

En síntesis, aunque la tipa blanca no está amenazada a nivel global, requiere monitoreo y manejo sostenible en Bolivia para asegurar la conservación de sus poblaciones naturales. Su relevancia ecológica es alta, pues constituye una especie fundamental para la estabilidad de los ecosistemas andino-amazónicos y para el bienestar de las comunidades que dependen de sus beneficios ambientales (IBI, 2010; López, 2012).

Tarco

Clasificación taxonómica:

Reino: Vegetal.

División: Tracheophytae.

Sub división: Anthophyta.

Clase: Angiospermae.

Sub clase: Dicotyledoneae.

Grupo de órdenes: Tetraciclicos.

Orden: Escrophularias.

Familia: Bignoniaceae.

Nombre científico: *Jacaranda mimosifolia* D. Don.

Nombre común: Tarco blanco.

Fuente: (Herbario Universitario, 2020) Ing,MSc. Ismael Acosta Galarza.

Caracteres botánicos

Tamaño

Es un árbol mediano, de 8-10 m de altura, que puede llegar hasta los 20 metros en estado adulto en su lugar de origen.

Ramificación

Es abierta, ascendente, las ramas son algo tortuosas, con quiebros suaves e irregulares en su extensión, de mediano grosor. Ramitas finales con escasa pubescencia.

Copa

Globosa irregular, de aproximadamente 5-6 m de diámetro. Tronco: desnudo, recto, cilíndrico, a veces ligeramente inclinado, de fuste alto.

Corteza

Fracturada, ligeramente corchosa, con camellones medianos limitados por hendiduras poco profundas, cortas y abiertas, de distribución medianamente uniforme y paralela al fuste. Los camellones están cruzados por delgadas fisuras transversales, que con las hendiduras configuran una sucesión de cuerpos poliédricos que semejan pequeñas placas irregulares, de color pardo grisáceas (González, 2016; López & Pérez, 2020).

Follaje

Hojas opuestas, decusadas, bipinnadas, de contorno algo ovalado, de 20-60 cm, de largo, pecioladas, con 14-24 pares de pinnas sub-opuestas, divididas a su vez en 10-30 pares de foliolos, sésiles, aovado-oblongos o elípticos, agudos, con borde entero, de 6 a 8 cm de largo, siendo el terminal más grande y largamente acuminado, de hasta 20 mm, glabros, de color verde medio en el haz y más claro en el envés (Silva & Costa, 2018; Hernández & García, 2022).

Floración

Hermafrodita. Flores de 4-5 cm, de largo, tubulosas, ligeramente curvas, con el limbo desigualmente 5-lobulado, de color blanco y cáliz pequeño, 5-dentado, acampanado, pubescente, dispuesta en amplias panojas terminales, erguidas, de 25-30 cm de largo (Ramírez & Soto, 2019; Vargas, 2021).

Época

Primavera, pudiendo tener una refluoración a finales de verano o principios de otoño.

La polinización es entomófila, lenticeladas (Kaplauski & Veuter, 2019).

Fructificación

Cápsula seca, suborbicular, de 6-8 cm de diámetro, de borde algo ondulado, muy comprimida lateralmente, con el ápice acuminado, de color verde medio que pasa a castaño cuando madura, dehiscente por valvas leñosas. Semillas numerosas, livianas,

con ala membranácea, de 1-2 cm de diámetro (Gómez & Rojas, 2017; Fernández et al, 2020).

Exigencias edáficas y climáticas

Suelo

Es bastante rústico, desarrollándose mejor en los arenosos, porosos, fértiles y profundos. Requiere riegos regulares.

Clima

Templado a templado cálido. Es sensible a las heladas, especialmente cuando es joven y no soporta vientos fuertes, debiendo estar protegido (González & Pérez, 2018).

Propagación

Semillas

Los frutos maduros y cerrados se cosechan en otoño y se guardan en lugar seco. La dehiscencia se efectúa pasados unos meses, obteniéndose así las semillas que se siembran en almácigos sobre elevadas, a principios de primavera. Germinan fácilmente en sustrato fértil y poroso, a la media sombra (Chapa & Soto, 2019; Vargas, 2020).

Especie Chañar

C Reino: Vegetal.

Phylum: Tracheophytae.

División: Tracheophytae.

Sub división: Anthophyta.

Clase: Angiospermae.

Sub clase: Dicotyledoneae.

Grado Evolutivo: Archichlamydeae.

Grupo de Ordenes: Corolinos.

Orden: Rosales.

Familia: Leguminosae.

Sub familia: Papilionoideae.

Nombre científico: *Geoffroea decorticans* (Hook. & Arn.) Burkart.

Nombre común: Chañar.

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

Morfología

Porte, corteza, hojas, flores, fruto y semillas.

Porte y corteza

Es un árbol o arbusto caducifolio. Su altura varía entre 3 y 10 m, según su contexto (aislado o en colonias). Cuando crece aislado, puede desarrollar un tronco recto con diámetro de hasta 40 cm. La corteza es característica de color gris-amarillento, rugosa, que se desprende en tiras longitudinales irregulares, dejando al descubierto una corteza joven verde. Las ramas adultas suelen terminar en espinas punzantes de 2–4 cm (González, 2017; López & Ramírez, 2020).

Hojas

Hojas compuestas, imparipinnadas. Normalmente tienen 5–9 folíolos, aunque pueden variar.

Los folíolos son oblongos-elípticos a oblongos, de tamaño aproximado 6–30 mm 4–8 mm, de textura coriácea, opacos. El ápice puede ser obtuso o emarginado.

En plántulas o retoños, pueden presentarse hojas unifoliadas, aunque en plantas adultas predominan las hojas compuestas (Silva & Costas, 2018; Hernández, 2021).

Flores

Inflorescencias en racimos corimbosos de 2–6 cm de largo, con 10–40 flores por racimo.

Flores hermafroditas, de tipo papilionada (como muchas Fabaceae), corola de color amarillo-anaranjado con estrías rojizas. Pétalos de unos 8–10 mm de largo.

Androceo con 10 estambres (9 soldados, 1 libre), ovario unilocular, fruto posible tras polinización.

Fruto y semillas

El fruto es una drupa carnosa (drupa o legumbre drupácea) ovoide o globosa, de 1.7–3.5 cm, 1.5–2.5 cm, con pulpa dulce y comestible.

Madura adquiriendo color amarillo-verdoso hacia rojizo/pardo.

En su interior contiene generalmente 1 (a 2) semillas fusiformes, de 10–12 × 5 mm, de color marrón claro, superficie algo rugosa (González & Rojas, 2017; Fernández, 2020).

Fenología

Floración

Generalmente en primavera austral (aproximadamente septiembre–octubre). En algunos reportes, flores aparecen antes de la hoja (Silva & Costas, 2018).

Fructificación

Entre noviembre y enero en muchas áreas de distribución.

La especie también puede reproducirse por raíces gemíferas (rebrote vegetativo), lo que favorece su regeneración en condiciones adversas o tras perturbaciones (Vargas & Soto, 2019; Pérez, 2022).

Distribución geográfica y hábitat

Es nativa del conjunto del sur y centro de Sudamérica: se encuentra naturalmente en Bolivia, norte y centro de Argentina, norte de Chile, sur de Perú, Paraguay, Uruguay y algunas zonas de Brasil.

En Chile, crece desde la Región de Arica-Parinacota hasta Coquimbo, en zonas áridas, desérticas o semiáridas, en valles, quebradas, oasis, a veces en terrenos de “albardones” suelos de río secos o inundables temporalmente.

Su rango altitudinal va desde el nivel del mar hasta aproximadamente 2.300 metros sobre el nivel del mar en Chile; en otras áreas puede encontrarse en distintos pisos ecológicos adaptándose a condiciones áridas o semiáridas.

Suele formar matorrales densos o bosquecillos espinosos (“chañarales”) que pueden ser casi impenetrables, muchas veces asociados con otras especies xerófilas como algarrobos, quebrachos o acacias (Zuloaga et al, 2019; Rodríguez & Villagran, 2020).

Ecología

Adaptaciones, reproducción y papel en el ecosistema.

Especies como el chañar están adaptadas a condiciones áridas, suelos pobres y estrés hídrico: la corteza que se desprende, las hojas coriáceas, los folíolos pequeños, su caducidad y el sistema radicular profundo son adaptaciones xeromorfas.

Su capacidad de rebrote por raíces gemíferas le otorga resiliencia, permitiendo regeneración tras saqueo, incendios, pastoreo o corte.

Es una planta melífera: produce flores que proveen néctar y polen, contribuyendo al alimento de polinizadores (abejas, insectos), lo que la convierte en un recurso importante para fauna local y apicultura.

Los frutos carnosos y dulces sirven de alimento a fauna frugívora (aves, mamíferos), favoreciendo la dispersión y manteniendo interacciones ecológicas (González & Torrez, 2018).

Importancia para el ser humano

Usos tradicionales, alimenticios, medicinales y productivos.

Alimentación humana: Los frutos maduros son comestibles, dulces, se consumen crudos, hervidos, tostados. De ellos se elabora tradicionalmente un jarabe/mosto dulce llamado Arrope de chañar, una “miel vegetal” muy usada en zonas secas.

También se usan para preparar harinas, dulces, bebidas fermentadas (como “aloja de chañar”).

Consumo animal y forrajero: frutos y semillas sirven como alimento para ganado y fauna silvestre (Silva & Costa, 2019; Vargas, 2021).

Madera, leña y carbón

Su madera semidura es apta para carpintería rústica, elaboración de mangos de herramientas, muebles simples; también se usa como leña o carbón vegetal (Fernández & López, 2019; Rojas, 2021).

Medicina tradicional

Corteza, hojas, flores y frutos se usan en decocciones o infusiones con fines expectorantes, antitusivos, balsámicos, para tratar tos, resfríos y otras afecciones respiratorias (Vargas, 2020).

Alimentos funcionales - nutraceuticos

Estudios fitoquímicos han detectado en los frutos compuestos bioactivos — flavonoides (quercetina, glucósidos), azúcares simples y compuestos antioxidantes. Su harina o extractos mostraron capacidad antioxidante, protectora contra oxidación de lípidos y actividad hipocolesterolemia, lo que sugiere potencial para su uso en prevención de enfermedades metabólicas o inflamatorias (Gómez, et al, 2018).

Conservación del suelo y reforestación

Por su aptitud a suelos pobres y condiciones áridas, puede emplearse en revegetación, restauración ecológica, establecimiento de setos vivos, barreras contra erosión, o como planta multipropósito en agroforestería en zonas semiáridas (Rodríguez & Gutierrez, 2019).

Características de las semillas y su propagación

Las semillas derivan de un fruto drupáceo; aproximadamente 1–2 semillas por fruto, tamaño de 10–12 mm × 5 mm.

Para su propagación por semilla, se recomienda remojo en agua caliente (80 °C) seguido de reposo 24–48 h antes de la siembra — tratamiento que rompe dormancia y favorece la germinación (González & Rojas, 2017).

Puede propagarse también vegetativamente mediante raíces gemíferas (rebrotos desde la raíz), lo que permite su recuperación incluso tras perturbaciones.

Estado de conservación, variabilidad genética y amenazas

Un estudio sobre población del chañar en el desierto de Atacama (Chile) analizó su diversidad genética usando marcadores ISSR y RAPD; encontró alta diversidad genética intra-poblacional (65 %) y niveles moderados de diferenciación entre poblaciones (35 %). Esto sugiere que, aunque hay fragmentación, la especie mantiene variabilidad genética importante, clave para su conservación.

No obstante, en muchas zonas sus hábitats, valles áridos, oasis, quebradas, están sometidos a presiones humanas: deforestación, uso intensivo de madera, recolección de frutos, expansión agrícola o ganadera, extracción de leña, lo que puede provocar fragmentación de poblaciones, pérdida de hábitat y reducción de densidades en bosques naturales (chañarales).

En algunas áreas se reporta el uso intensivo de su madera, y el aprovechamiento de frutos y semillas, lo que en ausencia de manejo sostenible puede afectar la regeneración.

Hasta la fecha, no hay un consenso global que clasifique a (*Geoffroea. Decorticans*. Hook. & Arn. Burkart) como amenazada, pero su conservación local depende de manejo sostenible, protección de sus hábitats y restauración ecológica, especialmente en zonas áridas vulnerables (Rojas et al, 2018).

Relevancia ecológica

Como planta adaptada a ambientes áridos/semiáridos, aporta estabilidad ecológica en ecosistemas secos: ayuda a fijar suelo, reducir erosión, ofrecer sombra, materia orgánica.

Sus flores y frutos constituyen recursos para fauna polinizadora y frugívora, ayudando a mantener biodiversidad local.

Su capacidad de rebrote y su adaptación a suelos pobres lo hacen valioso para restauración ecológica, revegetación, agroforestería sostenible en zonas degradadas o áridas (Rodríguez & Gutiérrez, 2019).

A nivel humano, combina múltiples servicios: alimento, medicina tradicional, madera, combustible, lo que lo convierte en una especie multipropósito con gran valor para comunidades rurales y pueblos originarios, especialmente en zonas marginales con recursos limitados (Vargas, 2021; Chapa, 2020).

Usos comestibles

El fruto del chañar tiene sabor dulce y se consume crudo, cocido o tostado. Además, con los frutos se prepara el “arope de chañar”, que se utiliza para endulzar los alimentos. Para esta preparación el fruto maduro se hierva, se muele y se concentra (se le da punto) a fuego lento hasta obtener la textura deseada. De los frutos fermentados también se elabora una bebida alcohólica llamada “aloja de chañar”. Finalmente, se fabrica harina a partir de los frutos maduros. Las semillas tostadas también son comestibles y se consumen como sucedáneo del maní.

Se ha documentado que éstas contienen en promedio 48,6% de aceite, 21,6% de proteínas y 20,1% de carbohidratos (Vargas, 2021; Torrez & Martínez, 2019).

Usos medicinales

La corteza, hojas y flores del chañar poseen propiedades expectorantes. La corteza hervida se usa como expectorante y antiasmático, el mismo uso se le da al arope (Chapa, 2022; Silva & Costa, 2018).

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2. METODOLOGÍA

2.1. Diseño del experimento

Por haberse realizado en un laboratorio, el experimento, corresponde a un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial de 3x3x3; y con 4 repeticiones para cada tratamiento.

2.2 Tratamientos

Métodos de almacenamiento: frasco hermético, almacenamiento al vacío.

Evaluación en tiempo: inicial (antes de almacenamiento) y final (después de 1, 3 y 6 meses de almacenamiento).

Replicaciones: 4 repeticiones por especie y tratamiento, con 25 semillas cada una (según ISTA).

2.3 Determinación del contenido de humedad

Procedimiento

1. Tomar una muestra representativa de semillas (aproximada. 5 g por repetición).
2. Pesar la muestra (peso inicial) con balanza de precisión.
3. Colocar en horno de secado a 103 ± 2 °C durante 17 ± 1 h.
4. Sacar la muestra, enfriar en desecador y pesar nuevamente (peso final).
5. Calcular el contenido de humedad (%):

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

2.4 Pretratamiento de semillas según especie

Especie	Pretratamiento	Observaciones según ISTA
Chañar (<i>Geoffroea decorticans</i> , Hook. & Arn. Burkart).	Escarificación mecánica ligera (lijado del tegumento).	Facilita la absorción de agua sin dañar el embrión.
Tipa blanca (<i>Tipuana tipu</i> , Benth. Kuntze).	Ninguno.	Semilla ortodoxa, lista para germinar.
Tarco (<i>Jacaranda mimosifolia</i> , D. Don.).	Ninguno.	Ninguno.

2.5 Almacenamiento de semillas

Colocar las semillas en los distintos métodos de almacenamiento:

1. Frasco hermético.
2. Almacenamiento al vacío.

Mantener registro de temperatura y humedad durante todo el almacenamiento.

Evaluar las semillas al finalizar los períodos: 1, 3 y 6 meses.

2.6 Prueba de germinación en cámara germinadora

Procedimiento:

1. Colocar papel filtro húmedo o sustrato estéril en bandejas de germinación.
2. Distribuir las semillas uniformemente, evitando contacto entre ellas.
3. Humedecer con agua destilada suficiente para mantener humedad constante.
4. Etiquetar cada bandeja con especie, tratamiento y repetición.
5. Colocar bandejas en la cámara germinadora con condiciones:

Temperatura: 25 ± 2 °C.

Fotoperiodo: 12 h luz / 12 h oscuridad.

Humedad: Mantener papel filtro o sustrato húmedo sin encharcar.

6. Registrar germinación diariamente:

Semillas germinadas normales (plántula bien desarrollada).

Semillas germinadas anormales (deformadas o abortadas).

7. Continuar seguimiento 21–28 días, según especie.

8. Calcular viabilidad (%) al final:

$$\text{Viabilidad (\%)} = \frac{\text{Semillas germinadas normalmente}}{\text{Total semillas sembradas}} \times 100$$

2.7. Evaluación de eficiencia de los métodos de almacenamiento

Determinar la eficiencia (%) comparando la viabilidad antes y después del almacenamiento:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\text{Viabilidad despues del almacenamiento}}{\text{Viabilidad inicial}} \times 100$$

7. Registro y análisis de datos

Utilizar planillas o Excel para registrar:

Contenido de humedad inicial y final.

Germinación diaria por repetición y tratamiento.

Viabilidad acumulada.

Eficiencia de almacenamiento.

Presentar resultados mediante tablas y gráficos comparativos para cada especie y método.

2.8 Métodos y Técnicas, Materiales Utilizados

2.8.1 Material vegetal

Se utilizaron semillas de tres especies forestales nativas:

Chañar (*Geoffroea decorticans*, Hook. & Arn. Burkart).

Tipa blanca (*Tipuana tipu*, Benth. Kuntze).

Tarco (*Jacaranda mimosifolia*, D. Don.)

Las semillas fueron recolectadas de plantas madre sanas, procesadas y limpiadas para eliminar impurezas, siguiendo los procedimientos establecidos por la International Seed Testing Association (ISTA, 2023).

2.8.2 Materiales y equipos

Cámara germinadora con control de temperatura, humedad y fotoperíodo.

Balanza analítica (0,0001 g).

Estufa/horno para secado ($103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$).

Termómetro e higrómetro digital.

Bandejas de germinación plásticas.

Papel toalla, papel filtro, arena esterilizada, vermiculita.

Pinzas, guantes y frascos herméticos.

Selladora al vacío (si se evalúa almacenamiento).

Lupa estereoscópica para evaluación de plántulas.

Regla milimétrica o calibrador digital.

2.8.3 Métodos y técnicas

Determinación de contenido de humedad (Método ISTA 2023)

Se empleó el método de secado en horno:

1. Se tomaron dos submuestras de 2–5 g por especie.

2. Se pesó el peso inicial verde (Pi).
3. Se secó en horno a $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 17 h.
4. Se registró el peso seco (Pf).
5. El contenido de humedad se calculó como:

$$\%CH = \frac{\text{Peso original} - \text{peso secado en la estufa}}{\text{peso original}} \times 100$$

Tratamientos pregerminativos (si aplica)

Dependiendo de la especie se utilizaron:

Escarificación mecánica con lija N° 80. (Corte en el hilio con una tijera de podar).

Remojo en agua a temperatura ambiente por 12–24 h.

Pruebas de germinación (según ISTA)

1 diseño experimental

Se aplicó un diseño factorial completo, con:

Factor A: Temperatura (ejm. 20, 25, 30 °C).

Factor B: Sustrato (ejm. papel, arena, vermiculita).

Repeticiones: 4 por tratamiento.

Número de semillas por repetición: 25 (100 por tratamiento).

2 condiciones de germinación.

Humedad: 90–95%.

Fotoperíodo: 12 h luz – 12 h oscuridad.

Riego: atomización estandarizada.

Variables evaluadas

a) Porcentaje de germinación (%G)

Se registró diariamente el número de semillas germinadas.

Cálculo:

Porcentaje de germinación:

$$\%G = \frac{\text{número de semillas germinadas}}{\text{número de semillas sembradas}} \times 100$$

b) Tiempo Medio de Germinación (TMG)

$$\text{TMG} = \frac{\# \text{ de semillas germinadas en el día}}{\text{tiempo desde la siembra hasta la evolución}}$$

c) Vigor de plántulas

Longitud de raíz.

Longitud de tallo.

Biomasa fresca.

Biomasa seca.

d) Evaluación de plántulas normales y anormales

- Se aplicaron los criterios ISTA:
- Plántula normal (válida).
- Plántula anormal.
- Semilla dura.
- Semilla fresca no germinada.
- Semilla muerta.

2.8.4 Resultados**Objetivo general**

Evaluar el efecto en la calidad fisiológica de semillas de cuatro especies forestales nativas: Chañar (*Geoffroea decorticans*, Hook. & Arn. Burkart) Tarco (*Jacaranda mimosifolia*) D. Don, Tipa blanca (*Tipuana tipu* Benth-Kuntze) expuestas a diferentes métodos de almacenamiento en laboratorio.

Planificación del análisis de datos en la investigación**Diseño experimental**

Por haberse realizado en un laboratorio, el experimento, corresponde a un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial de $4 \times 3 \times 3$; y con 4 repeticiones para cada tratamiento.

Número de tratamientos: 36

Número de repeticiones: 4

Número de unidades experimentales: 144

Número de semillas por tratamiento: 100

Número de especies del Factor A: 4

Número de métodos de almacenamiento del Factor B: 3

Número de tiempos almacenamiento del Factor C: 3

Factores en estudio

Factor	Niveles
A = Especies forestales.	a_1 = Chañar a_2 = Tarco a_3 = Tipa blanca
B = Método de almacenamiento.	b_1 = Frasco de vidrio (5 a 10°C) b_2 = Bolsa de plástico al vacío (5 a 10°C) b_3 = Bolsa de papel a temperatura ambiente
C = Tiempo de almacenamiento.	c_1 = 30 días c_2 = 90 días c_3 = 180 días

Por ejemplo, la combinación $a_3b_2c_2$, corresponde a semillas de la especie Tipa blanca, almacenada en bolsas de plástico sellados al vacío en ambiente controlado y evaluado a los 90 días.

Cuadro para el análisis de los datos de las variables respuesta

Especie	Método de almac.	Tiempo de almac.	Tratamiento	Repeticiones			
				1	2	3	4
a1	b1	c1	a1b1c1				
		c2	a1b1c2				
		c3	a1b1c3				
	b2	c1	a1b2c1				
		c2	a1b2c2				
		c3	a1b2c3				
	b3	c1	a1b3c1				
		c2	a1b3c2				
		c3	a1b3c3				
a2	b1	c1	a2b1c1				
		c2	a2b1c2				
		c3	a2b1c3				
	b2	c1	a2b2c1				

Especie	Método de almac.	Tiempo de almac.	Tratamiento	Repeticiones			
				1	2	3	4
		c2	a2b2c2				
		c3	a2b2c3				
	b3	c1	a2b3c1				
		c2	a2b3c2				
		c3	a2b3c3				
a3	b1	c1	a3b1c1				
		c2	a3b1c2				
		c3	a3b1c3				
	b2	c1	a3b2c1				
		c2	a3b2c2				
		c3	a3b2c3				
	b3	c1	a3b3c1				
		c2	a3b3c2				
		c3	a3b3c3				

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS

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.

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

Cuadro 1. Análisis de pureza de semillas de Chañar (Geoffroea decortican, Hook. & Arn. Burkart), Tarco (Jacaranda mimosifolia) D. Don, y Tipa blanca (Tipuana tipu Benth-Kuntze) procedentes del Valle Central de Tarija.

Componente	Chañar		Tarco		Tipa blanca	
	Peso (g)	%	Peso (g)	%	Peso (g)	%
Semilla pura	310,3	48,74	4,84	97,6	97,84	84,97
Otra semilla	-		-		-	
Materia inerte	326,3	51,26	0,12	2,40	17,3	15,02
Total	636,6		4,96		115,14	

Los resultados del análisis de pureza muestran diferencias marcadas entre las especies evaluadas. La especie de Tarco presentó el mayor porcentaje de semilla pura (97.6%) y una mínima proporción de materia inerte (2.40%), lo que indica un lote de alta calidad. La tipa blanca también muestra un buen nivel de pureza (84,97%), aunque con

mayor contenido de impurezas (15,02%) lo que sugiere un proceso de limpieza aceptable pero mejorable. Por otro lado, el Chañar presenta baja pureza (48,74%) y un alto porcentaje de materia inerte (51,02%), reflejando menor calidad del lote, posiblemente debido o a características propias del fruto, en conjunto, se observa que el Tarco y la Tipa blanca presenta mejores condiciones físicas que el chañar.

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 caja Petri.

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

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

Cuadro 2.

Determinación del Contenido de Humedad de semillas de Chañar (*Geoffroea decorticans*), Tarco (*Jacaranda mimosifolia*) D. Don Tipa blanca (*Tipuana tipu Benth-Kuntze*).

Parámetro	Chañar		Tarco		Tipa blanca	
	Muestra1	Muestra2	Muestra1	Muestra2	Muestra1	Muestra2
Peso 1 (P_1)	28,30	29,02	28,42	47,49	27,70	30,65
Peso 2 (P_2)	42,35	45,49	29,30	48,25	33,93	34,89
Peso 3 (P_3)	40,79	43,52	29,26	48,20	33,30	34,44
C. Humedad	11,44%	11,64%	6,08%	5,92%	10,11%	9,91%
Promedio	11,54%		6,00%		10,01%	
Discrepancia	0,20		0,16		0,20	

En cuanto a la discrepancia establecida por las normas ISTA, no debe sobrepasar un máximo de 0.2 % y teniendo en cuenta los valores de discrepancias para las especies del presente estudio, en ningún caso sobrepasan este límite, por tanto, se aceptan como submuestras provenientes de una misma población.

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.

Los resultados obtenidos para las especies estudiadas se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 3. Determinación del número de semillas por kilogramo de las especies ensayadas.

Submuestra	Nº de semillas	Peso en gr (Chañar)	Peso en gr (Tarco)	Peso en gr (Tipa)
1	100	121,5	51,8	1,21
2	100	122,8	53,0	1,24
3	100	123,6	54,6	1,26
4	100	124,9	52,4	1,28
5	100	126,3	54,1	1,27
6	100	125,7	53,7	1,27
7	100	120,1	53,3	1,25
8	100	127,1	52,9	1,22
Desviación estándar		2,44	0,91	0,025
Promedio		124,00	53,23	1,25
Coef. De variación (%)		1,97%	1,71%	2,00%
Nº semillas / Kgr.		806	1878,82	80000

Fuente: Elaboración propia

3.2 Evaluación del efecto de los métodos de almacenamiento

3.2.1 Porcentaje de germinación

Se evaluó a través del porcentaje de germinación, entendiéndose como tal, al número de semillas germinadas con respecto al total de semillas empleadas. Por haberse realizado en laboratorio, el experimento, corresponde a un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial de $4 \times 3 \times 3$; y 4 repeticiones para cada tratamiento. Los factores en estudio, fueron:

Factor	Niveles
A = Especies forestales.	a_1 = Chañar.
	a_2 = Tarco.
	a_3 = Tipa blanca.
B = Método de almacenamiento.	b_1 = Frasco de vidrio (5 a 10°C).
	b_2 = Bolsa de plástico al vacío (5 a 10°C).
	b_3 = Bolsa de papel a temperatura ambiente.
C = Tiempo de almacenamiento.	c_1 = 30 días.
	c_2 = 90 días.
	c_3 = 180 días.

Por ejemplo, la combinación $a_3b_2c_2$, corresponde a semillas de Tipa blanca, almacenada en ambiente controlado, en bolsas de plástico sellados al vacío y evaluado a los 90 días.

Número de tratamientos: 36

Número de repeticiones: 4

Número de unidades experimentales: 144

Número de semillas por tratamiento: 100

Número de especies del Factor A: 4

Número de métodos de almacenamiento del Factor B: 3

Número de tiempos almacenamiento del Factor C: 3

Para evaluar el efecto en la calidad fisiológica de semillas de las cuatro especies forestales expuestas a diferentes métodos de almacenamiento, se empleó como variable respuesta el porcentaje de germinación, determinados en diferentes tiempos de almacenamiento.

Cuadro 4. Análisis de varianza del % de germinación de semillas de tres especies forestales expuestas a tres métodos de almacenamiento, determinados en tres tiempos de almacenamiento.

En análisis de varianza realizado para el porcentaje de germinación de semillas

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma d cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F cal</i>	<i>F tab (0.05)</i>	<i>F tab (0.01)</i>	<i>Sig</i>
Repetición	26,555	3	8,85	0,54	2,7	4,04	NS
Especies (A)	754,963	2	377,481	23,094	3,109	4,877	**
Métodos (B)	1733,630	2	866,815	53,030	3,109	4,877	**
Tiempo (C)	44,741	2	22,370	1,369	3,109	4,877	NS
Interacción AB	5,037	4	1,259	0,077	2,484	3,560	NS
Interacción AC	304,593	4	76,148	4,659	2,484	3,560	**
Interacción BC	72,593	4	18,148	1,110	2,484	3,560	NS
Interacción ABC	71,407	8	8,926	0,546	2,055	2,739	NS
Tratamiento	2986,963	26	114,883	7,028	1,633	1,995	**
Error Experimental	1324,000	81	16,346				
Total	4310,963	107					

muestran que existen diferencias altamente significativas entre algunos de los factores evaluados.

El factor especie (A) presento diferencias altamente significativas ($p < 0,01$), lo que indica que el porcentaje de germinación varia de manera importante entre las especies forestales estudiados. Esto sugiere que el comportamiento manifestado en la germinación de las semillas depende en gran medida de la calidad genética de cada especie.

De igual manera, el factor métodos de almacenamiento (B) resulto altamente significativo ($p<0,01$), evidenciando que el tipo de almacenamiento influye considerablemente en la germinación de las semillas.

En caso el factor tiempo de almacenamiento (C); la prueba “F”, indica que el % de germinación no es afectado por el tiempo de almacenamiento, es decir el % de germinación en las semillas en las 3 especies se mantuvo constante a 180 días de almacenamiento.

En cuanto a las interacciones: la interacción (AxB) no fue significativa, lo que sugiere que el efecto de los métodos de almacenamiento es similar entre especies.

La interacción AxC fue altamente significativa ($p<0,01$), indicando que el efecto del tiempo de almacenamiento depende de la especie, es decir, algunas especies responden de forma diferente al almacenamiento en el tiempo.

Las interacciones BxC y AxBxC no fueron significativa, lo que implica que no existe un efecto combinado importante entre estos factores.

Finalmente, el efecto de tratamiento en conjunto fue altamente significativo ($p<0,01$), lo que confirma la existencia de diferencias entre las combinaciones evaluadas.

Cuadro 5. Para evaluar el efecto de tres métodos de almacenamiento en la germinación de tres especies forestales, se determinan a través de tes de Tukey, a través de una matriz de doble entrada.

	Factor B			
Factor A	b1= Vidrio	b2= Plástico	b3=Papel	Promedio
a1= Chañar	91,67	92,67	83,33	89,22
a2= Tipa blanca	92,00	93,67	84,67	90,11
a3= Tarco	97,67	98,33	89,67	95,22
Promedio	93,78	94,89	85,89	91,52

Para promedios de factor especie:

$$HSD = q \times \sqrt{\frac{CME}{n_{promedio}}} \quad HDS = 3,36 \times \sqrt{\frac{16,35}{36}} = 2,264$$

Valor de Tukey = 2,264.

		a3= Tarco	a1= Chañar	a2= Tipa bl
		89,22	90,11	95,22
a2= Tipa blanca.	95,22	6,00	5,11	0,00
a1= Chañar	90,11	0,89	0	
a3= Tarco	89,22	0		

Si se compara Tarco (95,22) con Tipa blanca. (90,11), los promedios son: $95,22 - 90,11 = 5,11$, este valor al ser mayor que el valor de Tukey (2,264), indica que existe diferencia significativa en el porcentaje de germinación entre ambas especies, siendo Tarco la que presenta mayor vigor germinativo.

		Factor C		
Factor B	c1= 30	c2=90	c3=180	promedio
b1= Vidrio	92,33	95,33	93,67	93,78
b2= Plástico	94,67	94,00	96,00	94,89
b3= Papel	85,00	87,33	85,33	85,89
Promedio	90,67	92,22	91,67	91,52

$$HSD = q \times \sqrt{\frac{CME}{n}}_{promedio} \quad HDS = 3,36 \times \sqrt{\frac{16,35}{12}} = 3,923$$

Valor de Tukey = 3,92

		b3= Papel	b1= Vidrio	b2= Plástico
		85,9	93,78	94,89
b2= Plástico	94,89	9,00	1,11	0
b1= Vidrio	93,78	7,89	0	
b3= Papel	85,89	0		

Si se compara el método plástico con papel, los promedios son: $94,89 - 85,89 = 9,00$. Este valor (9,00) es mayor que el valor de Tukey ($HSD = 3,92$). Por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente significativa en el porcentaje de germinación entre el método de plástico y el de papel, siendo el plástico el que presenta un mejor resultado.

Cuadro 6. Efecto del tiempo de almacenamiento en la germinación de tres especies forestales.

	Factor C			
Factor A	c1	c2	c3	Promedio
a1= Chañar	90,33	88,33	89,00	89,22
a2= Tipa blanca	86,00	92,67	91,67	90,11
a3= Tarco	95,67	95,67	94,33	95,22
Promedio	90,67	92,22	91,67	91,52

$$HSD = q \times \sqrt{\frac{CME}{n}}_{promedio} \quad HDS = 3,36 \times \sqrt{\frac{16,35}{12}} = 3,923$$

Valor de Tukey = 3,92

		c1= 30 días	c3= 180 días	c2= 90 días
		90,7	91,7	92,2
c2= 90 días	92,2	1,55	0,55	0,00
c3= 180 días	91,7	1,00	0	
c1= 30 días	90,7	0		

Los resultados de prueba de Tukey (Valor critico = 3,92) indican que no existen diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de germinación entre los diferentes tiempos de almacenamiento (30, 90, 180 días), comportándose como un grupo homogéneo. Esto demuestra que, bajo las condiciones de este estudio, el periodo de almacenamiento dentro de este rango no tuvo un impacto significativo en la viabilidad de las semillas.

El mayor porcentaje de germinación registrado a los 90 días de almacenamiento posiblemente se deba a que, durante este periodo, las semillas alcanzaron un equilibrio fisiológico favorable que permitió mantener adecuadamente su viabilidad y vigor.

En comparación a los 30 días las semillas aun podrían encontrarse en un proceso de adaptación fisiológica posterior a la cosecha y acondicionamiento, razón por la cual la capacidad germinativa no alcanzo su máxima expresión; por otra parte, a los 180 días se observó una ligera disminución del porcentaje de germinación.

Estos resultados coinciden con lo señalado por (Bewley y Black), quienes indican que el almacenamiento moderado puede favorecer temporalmente la estabilidad fisiológica de las semillas; sin embargo, periodos prolongados de conservación tienden a reducir progresivamente la capacidad germinativa debido al envejecimiento natural.

3.2.2 Índice de velocidad de germinación.

El efecto de los métodos de almacenamiento sobre la velocidad de germinación de las semillas de tres especies forestales fue evaluado mediante el índice de velocidad de germinación, el cual permite estimar la rapidez con la ocurre el proceso germinativo, este análisis se realizó bajo un diseño completamente al azar bajo arreglo factorial, cuyos resultados del análisis de varianza se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 7. Análisis de varianza de la velocidad de germinación de semillas de tres especies forestales expuestas a tres métodos de almacenamiento, evaluadas en tres tiempos de almacenamiento.

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>GL</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F cal</i>	<i>F tab (0,05)</i>	<i>F tab (0,01)</i>	<i>Sig</i>
Repetición	26,555	3	8,85	0,54	2,7	4,04	NS
Especies (A)	7,102	2	3,551	5,737	3,109	4,877	*
Métodos (B)	17,336	2	8,668	14,01	3,109	4,877	**
Tiempo (C)	0,741	2	0,371	0,66	3,109	4,877	NS
Interacción AB	5,037	4	1,259	0,200	2,484	3,560	NS
Interacción AC	30,459	4	7,615	12,300	2,484	3,560	**
Interacción BC	7,259	4	1,815	2,930	2,484	3,560	*
Interacción ABC	7,141	8	0,893	1,440	2,055	2,739	NS
Tratamiento	199,170	26	7,660	12,370	1,633	1,995	**
Error Experimental	50,132	81	0,619				
Total	249,306	107					

El análisis de varianza para la velocidad de germinación evidencia diferencias estadísticas importantes entre algunos de los factores evaluados, lo que permite identificar los elementos que influyen en el vigor de las semillas.

El factor especie A presentó diferencias significativas ($p < 0,05$), indicando que la velocidad germinación varía entre las especies forestales estudiadas, esto sugiere que cada especie posee características fisiológicas propias que determinan su rapidez de germinación.

Por su parte, el factor método de almacenamiento B (frasco de vidrio, bolsa de plástico, bolsa de papel) mostró diferencias altamente significativas ($p < 0,01$), evidenciando que las condiciones de almacenamiento influyen de manera determinante en la velocidad de germinación. Este resultado resalta la importancia de seleccionar adecuadamente el método de conservación para mantener el vigor de las semillas.

En cambio, el factor tiempo de almacenamiento C no presentó diferencias significativas (NS), lo que indica que, dentro del periodo evaluado, el tiempo de almacenamiento no afectó significativamente la velocidad de germinación.

En relación a las interacciones, la interacción AxB no fue significativa, lo que indica que el efecto de los métodos de almacenamiento es similar entre las especies.

La interacción AxC fue altamente significativa ($p < 0,01$), lo que sugiere que el efecto del tiempo de almacenamiento depende de la especie, es decir, algunas especies mantienen mejor su velocidad de germinación que otras a través del tiempo.

Finalmente, el efecto de tratamientos fue altamente significativo ($p < 0,01$), confirmando que las diferentes combinaciones de especies, métodos y tiempos generan respuestas distintas en la velocidad de germinación.

Cuadro 8. Comparación de medias entre especies (Duncan, $\alpha = 0,05$).

Velocidad de germinación: Especies			
Especie	N	Subconjunto 1	Subconjunto 2
Especie 3	36	163,33	
Especie 2	36		163,66
Especie 1	36		165,67
Sig		1,000	0,055

La comparación múltiple de medias mediante la prueba de Duncan al 5% de significancia evidencio diferencias estadísticas entre las especies evaluadas. La especie de Tarco presento el menor índice de velocidad de germinación (163,33), diferenciándose significativamente del resto. En orden ascendente le siguen las especies de Tipa blanca (163,66), y la especie de Chañar (165,67), observando que la especie de Chañar y la especie de Tipa blanca conforman un subconjunto homogéneo, mientras que la especie de Tarco forma un grupo independiente.

Estos resultados indican que la velocidad de germinación esta influenciada por las características fisiológicas propias de cada especie, siendo la especie de Tarco la que presento un ritmo germinativo más lento en comparación con las demás.

Cuadro 9. Comparación de medias entre según métodos de almacenamiento (Duncan, $\alpha = 0,05$).

Velocidad de germinación: Método almacenamiento			
Método	N	Subconjunto 1	Subconjunto 2
Plástico	36	16,26	
Papel	36	16,30	
Vidrio	36		16,73
Sig.		0,958	1,000

La comparación múltiple de medias mediante la prueba de Duncan al 5% de significancia evidencio diferencias en la velocidad de germinación entre los métodos de almacenamiento evaluados. El método en frasco de vidrio presento el mayor índice de velocidad de germinación (16,73), ubicándose en un subconjunto homogéneo distinto, lo que indica un efecto favorable sobre la rapidez del proceso germinativo. Por otro lado, los métodos bolsa de plástico (16,266) y el método de bolsa de papel (16,30) presentaron valores similares y no difirieron estadísticamente entre sí, conformando un mismo grupo homogéneo

Cuadro 10. Comparación de medias entre según el tiempo (Duncan, $\alpha = 0,05$).

Velocidad de germinación: Tiempo			
Tiempo	N	Subconjunto 1	Subconjunto 2
90 días	36	16,23	
30 días	36	16,50	
180 días	36		16,53

Sig.		0,785	1,000
------	--	-------	-------

Los resultados de la prueba de Duncan al 5% de significancia muestran que el tiempo de almacenamiento influyo en la velocidad de germinación de las semillas. El tratamiento correspondiente a 180 días alcanzo el mayor valor promedio (16,53), conformando un grupo independiente, lo que refleja una mayor rapidez en la emergencia de las plántulas. Por su parte los tiempos de 30 días (16,50) y 90 días (16,23) presentaron valores estadísticamente similares, integrando un mismo conjunto homogéneo, esto indica que, aunque la velocidad fue menor en estos periodos, no existieron diferencias marcadas entre ellos.

Cuadro 11. Análisis de varianza de energía germinativa.

<i>Fuente de variación</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>GL</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>F cal</i>	<i>F tab (0,05)</i>	<i>F tab (0,01)</i>	<i>Sig.</i>
Repetición	27,639	3	9,21	0,07	2,717	4,033	NS
Especies (A)	47,472	2	23,736	1,470	3,109	4,877	**
Métodos (B)	44,347	2	22,174	1,373	3,109	4,877	**
Tiempo (C)	1,181	2	0,591	0,037	3,109	4,877	NS
Interacción AB	588,653	4	147,163	9,113	2,484	3,560	NS
Interacción AC	465,153	4	116,288	7,201	2,484	3,560	**
Interacción BC	344,569	4	86,142	5,334	2,484	3,560	NS
Interacción ABC	758,309	8	94,789	5,870	2,055	2,739	NS
Error Experimental	1308,000	81	16,148				
Total	4076,263	107					

El análisis de varianza para la energía germinativa evidencia el comportamiento diferencial de los factores evaluados sobre el vigor inicial de las semillas.

El factor especie A presento diferencias altamente significativas ($p < 0,01$), lo que indica que la energía germinativa varía entre las especies forestales. Este resultado demuestra que cada especie posee distinta capacidad de germinar rápidamente en las primeras etapas, lo cual está relacionado con su fisiología y calidad de semilla. Así mismo el factor método de almacenamiento B mostro diferencia altamente significativa ($p < 0.01$), evidenciando que las condiciones de almacenamiento influyen directamente en la energía germinativa. Esto resalta la importancia del manejo postcosecha para conservar el vigor de las semillas. El factor tiempo de almacenamiento C no presento

diferencia significativa (NS), lo que indica que, en el periodo evaluado, el tiempo no afecto de manera importante la energía germinativa.

La interacción AxB no fue significativa, lo que sugiere que el efecto de los métodos de almacenamiento es consistente entre especies; la interacción AxC fue altamente significativa ($p < 0,01$), indicando que el efecto del tiempo de almacenamiento depende de la especie, es decir algunas especies conservan mejor su energía germinativa a lo largo del tiempo. La interacción BxC no presento significancia, lo que indica que el efecto del tiempo es similar entre métodos de almacenamiento. La interacción AxBxC no fue significativa, evidenciando que no existe un efecto combinado relevante entre los tres factores.

Cuadro 12. Comparación de medias entre especies (Duncan, $\alpha = 0,05$).

Energía germinativa: Especie				
Especie	N	Subconjunto 1	Subconjunto 2	Subconjunto 3
Tarco	36	46,44		
Tipa blanca	36		50,44	
Chañar	36			53,67
Sig.		1,000	1,000	1,00

El efecto de tratamientos en conjunto refleja variabilidad atribuible a las combinaciones evaluadas, respaldando la existencia de diferencias en la energía germinativa entre tratamientos. Si se compara el Chañar con el Tarco los promedios son: $53,67 - 46,44 = 7,23$; este valor indica que existe diferencia significativa en la energía germinativa entre ambas especies, siendo el Chañar la que presenta mayor vigor germinativo.

Cuadro 13. Comparación de medias según métodos de almacenamiento (Duncan, $\alpha = 0,05$).

Energía germinativa: Método			
Métodos	N	Subconjunto 1	Subconjunto 2
Plástico	36	46,44	46,44
Vidrio	36	49,89	
Papel	36		54,22
Sig.		0,131	0,462

Al comparar los métodos de almacenamiento, se observa que la bolsa de papel (54,22) presenta mayor valor de energía germinativa, mientras que el frasco de vidrio (49,89) y bolsa de plástico (46,44) no muestran diferencias significativas entre sí, indicando que el método de almacenamiento no influye de manera determinante en la energía germinativa.

Cuadro 14. Comparación de medias según el tiempo de almacenamiento (Duncan, $\alpha = 0,05$).

Energía germinativa: Tiempo			
Tiempo	N	Subconjunto 1	Subconjunto 2
90 días	36	49,89	
180 días	36	50,00	
30 días	36		50,67
Sig.		0,949	1,000

Al comparar los tiempos de almacenamiento, se observa que 30 días (50,67) presenta mayor valor germinativa, diferenciándose de 180 días (50,00) y 90 días (49,89), los cuales no muestran diferencias significativas entre sí, indicando que periodos cortos de almacenamiento favorecen una mayor energía germinativa.

3.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a las variables de germinación evaluadas, la especie a3 (tipa blanca), tuvo la mayor germinación seguido de a2 (Tarco), y a1 (Chañar), a1, reporto el menor % de germinación, esta diferencia, probablemente se debe a las características en intrínsecas que posee cada especie como físicas y genética, inferencia que se sustenta por el tipo de semillas, como señalan Baskin y Baskin (2001) y la (FAO, 2010), impone una severa dormancia mecánica y física al restringir el flujo gaseoso y la imbibición del embrión dicho de otro modo, la semilla de chañar está cubierta por un carozo leñoso, que provoca una germinación desigual, mientras que las semillas de tipa y tarco, están cubiertas por una capa delgada, que facilita la imbibición de agua y germinación homogénea, de acuerdo con Bewley y Black (1994), la baja resistencia hidráulica de estos tegumentos acelera la reactivación metabólica celular, optimizando la movilización de reservas energéticas hacia la elongación de la radícula.

Por otra parte, el análisis de varianza, para la interacción método y tiempo de almacenamiento muestra que no existe diferencia entre los tratamientos que resultan de las combinaciones de estos factores, en otras palabras, las diferencias al no ser significativas (NS), denota que los efectos de los métodos de almacenamiento en la germinación, no depende del nivel de tiempo de almacenamiento.

Las semillas ensayadas en bolsa de plástico fue la más adecuadas, permitiendo mantener los niveles óptimos de humedad y temperatura, lo que reflejo en la conservación de la viabilidad y el vigor fisiológico durante todo el periodo de almacenamiento, superando significativamente a los demás materiales de empaque evaluados, Willan (1991) y la FAO (2008) sostienen que este aislamiento es indispensable para estabilizar el contenido de humedad interna, reduciendo la tasa respiratoria embrionaria al mínimo.

El % de germinación más alto, se obtuvo a los 90 días momento en cual las condiciones de almacenamiento se mantuvieron estables, favoreciendo la expresión máxima de la capacidad germinativa de las semillas, mientras que a plazos más largos se observó una disminución progresiva asociada al envejecimiento fisiológico natural. Copeland y

McDonald (2001) y Bonner (2008) afirman que muchas semillas forestales nativas presentan una latencia latente postcosecha, requiriendo un periodo de reposo para equilibrar sus concentraciones de ácido abscísico y giberelinas.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

La calidad fisiológica de las semillas forestales evaluadas estuvo influenciada principalmente por las características propias de cada especie, evidenciándose diferencias en la capacidad germinativa, vigor y comportamiento durante el almacenamiento. La tipa blanca presentó mejor respuesta fisiológica, mientras que el chañar mostró mayores limitaciones germinativas debido a la dureza de su tegumento.

Los métodos de almacenamiento empleados influyeron en la conservación de la viabilidad y vigor fisiológico de las semillas, siendo la bolsa de plástico el material que permitió mantener condiciones más adecuadas de humedad y temperatura, favoreciendo la estabilidad fisiológica durante el periodo de almacenamiento.

El tiempo de almacenamiento no afectó significativamente la germinación de las semillas; sin embargo, se observó que a los 90 días se alcanzó la mejor expresión de la capacidad germinativa, lo cual sugiere que periodos moderados de almacenamiento pueden favorecer procesos fisiológicos relacionados con la maduración de las semillas.

Las diferencias observadas entre especies demuestran que la respuesta al almacenamiento depende de las características morfológicas y fisiológicas de cada semilla, especialmente del tipo de cubierta seminal, factor que influye directamente en la absorción de agua y en la uniformidad del proceso germinativo.

Los resultados obtenidos permiten establecer que el almacenamiento adecuado constituye una práctica fundamental para conservar la calidad fisiológica de semillas forestales nativas, contribuyendo al fortalecimiento de programas de reforestación, conservación y producción de plantas forestales en vivero en el Valle Central de Tarija.

4.2 RECOMENDACIONES.

- De acuerdo con los resultados del análisis estadístico, se recomienda el uso de métodos de almacenamiento en condiciones controladas, especialmente en bolsa de plástico sellada o frascos de vidrio, ya que presentaron los mejores resultados en porcentaje y velocidad de germinación. Se desaconseja el uso de bolsas de papel en almacenamiento prolongado debido a su menor eficiencia.
- Aunque el tiempo de almacenamiento no presentó diferencias significativas, se recomienda no exceder periodos prolongados sin monitoreo, y realizar evaluaciones periódicas de germinación, especialmente considerando la interacción significativa entre especie y tiempo.
- Continuar realizando estudios fisiológicos en semillas de especies forestales nativas del valle central de Tarija, con el fin de ampliar la información técnica sobre su comportamiento germinativo y conservación.