

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DE ESCARIFICACIÓN FÍSICA MEDIANTE
DIFERENTES TEMPERATURAS DE AGUA PARA ESTIMULAR LA
PRE-GERMINACIÓN CON TRES DIFERENTES NIVELES DE
SUSTRATO DE LA SEMILLA TARA (*Caesalpinia spinosa*) EN LA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE KALLUTACA.**

Por:

Lesli Dona Churata Quisbert

**EL ALTO – BOLIVIA
Diciembre, 2025**

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN DE ESCARIFICACIÓN FÍSICA MEDIANTE DIFERENTES
TEMPERATURAS DE AGUA PARA ESTIMULAR LA PRE-GERMINACIÓN CON TRES
DIFERENTES NIVELES DE SUSTRATO DE LA SEMILLA TARA (*Caesalpinia spinosa*)
EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE KALLUTACA**

*Tesis de Grado presentado
como requisito para optar el Título de
Ingeniería Agrónoma*

Lesli Dona Churata Quisbert

Asesores:

M. Sc. Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez

Tribunal Revisor:

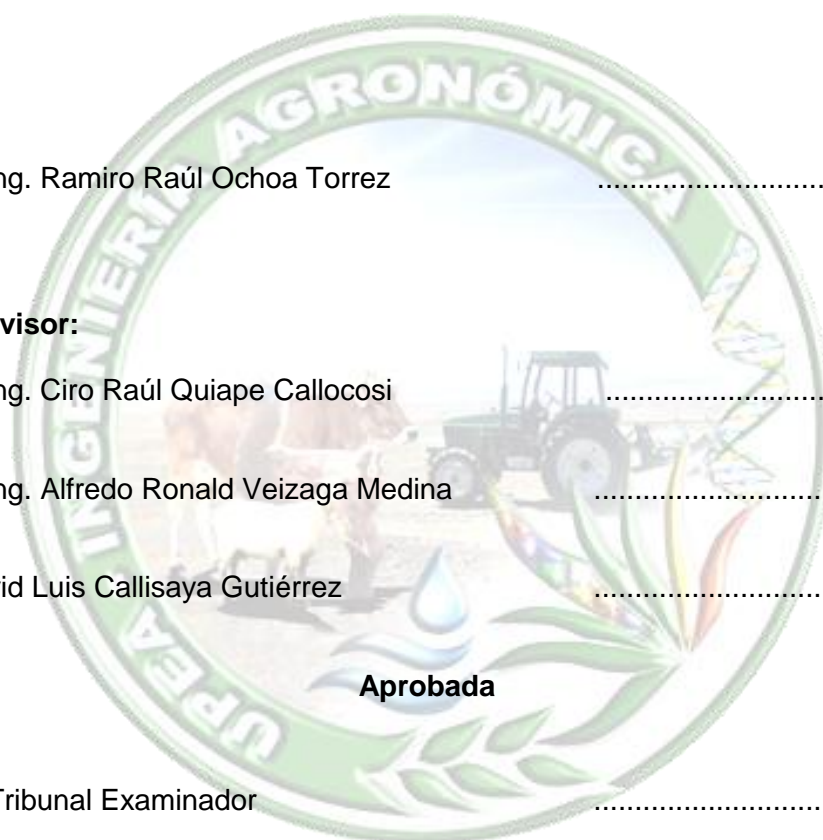
M. Sc. Lic. Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi

M. Sc. Lic. Ing. Alfredo Ronald Veizaga Medina

Lic. Ing. David Luis Callisaya Gutiérrez

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador



DEDICATORIA:

Este trabajo se lo dedico en primer lugar a Dios por permitirme estar aquí y cumplir con otra meta más en mi vida.

A mi madre, quien me acompañó durante toda mi formación y me brindó su apoyo incondicional.

A mi pareja, que siempre me impulsó a seguir adelante y no rendirme en el camino

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios único supremo, quien fue el eje principal que nos impulsó a lograr que este sueño se hiciera realidad.

A mi querida madre que con el amor y apoyo incondicional que me brindaba para seguir adelante y poder cumplir mi meta de salir profesional.

A mi pareja por el apoyo incondicional que me brindo durante todo este camino de mi formación por el tiempo que me brindo en todo este tiempo.

A mi asesor, M. Sc. Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez, por todas sus enseñanzas y orientaciones que me brindo y sobre todo por dedicar su valioso tiempo durante la realización de este trabajo.

A mis tribunales M. Sc. Lic. Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi, M. Sc. Lic. Ing. Alfredo Ronald Veizaga Medina y Lic. Ing. David Luis Callisaya Gutiérrez, por toda colaboración brindada para el presente trabajo y el valioso tiempo dedicado.

A todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica de Universidad Pública de El Alto, que a lo largo de mi formación profesional contribuyeron en la culminación de la meta que me propuse.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS.....	i
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
ABREVIATURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	i

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación	2
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Hipótesis.....	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Origen y distribución geográfica mundial y nacional.....	4
2.2. La semilla tara en Bolivia	4
2.3. Variables edafoclimáticas	4
2.4. Clasificación taxonómica y descripción Botánica de tara (<i>Caesalpinia spinosa</i>). 5	
2.4.1. Raíz	5
2.4.2. Tallo	5
2.4.3. Hojas.....	5

2.4.4.	Inflorescencia	6
2.4.5.	Frutos.....	6
2.4.6.	Semillas	6
2.4.7.	Clasificación taxonómica.....	7
2.5.	Germinación	7
2.5.1.	Proceso de la germinación.....	8
2.5.1.1.	Imbibición	8
2.5.1.2.	Digestión	8
2.5.1.3.	Movilización y transporte de alimento.....	9
2.5.1.4.	Respiración	9
2.5.2.	Condiciones para la germinación	9
2.5.2.1.	Agua.....	9
2.5.2.2.	Aire.....	9
2.5.2.3.	Temperatura.....	10
2.5.2.4.	Luz	10
2.6.	Métodos pre germinativos.....	10
2.6.1.	Escarificación mecánica.....	10
2.6.2.	Cortado de la testa de la semilla	11
2.6.3.	Lijado	11
2.6.4.	Escarificación ácida	11
2.6.5.	Remojo en agua caliente y fría.....	12
2.6.6.	Lixiviación	12
2.7.	Sustrato	12
2.7.1.	Funciones del sustrato	13
2.7.2.	Descripción de los materiales del sustrato	13
2.7.2.1.	Arena fina.....	13

2.7.2.2.	Tierra del lugar.....	13
2.7.2.3.	Humus de lombriz	14
2.7.2.3.1.	Características físico y químicas del humus de lombriz como sustrato.....	14
2.7.2.3.2.	Propiedades químicas:	14
2.7.2.3.3.	Propiedades físicas:	15
2.7.2.4.	Desinfección del suelo.....	16
2.8.	Procedencia de la semilla	16
2.9.	Propiedades externas de la semilla	17
2.9.1.	Pureza física	17
2.9.2.	Peso en mil semillas	17
2.9.3.	Contenido de humedad de la semilla	18
2.10.	Propiedades internas de la semilla	18
2.10.1.	Viabilidad	18
2.10.2.	Germinación y emergencia.....	19
2.11.	Sanidad de la semilla	20
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1.	Localización	21
3.1.1.	Ubicación Geográfica.....	21
3.1.2.	Características Edafoclimáticas	22
3.1.2.1.	Clima.....	22
3.1.2.2.	Suelo.....	22
3.2.	Material genético de estudio	23
3.2.1.	Material de escritorio.....	23
3.2.2.	Material de campo.....	23
3.2.3.	Insumos	24
3.3.	Metodología	25

3.3.1.	Desarrollo del ensayo.....	25
3.3.1.1.	Acondicionamiento del invernadero.....	25
3.3.1.2.	Registro de temperaturas y humedad relativa	25
3.3.1.3.	Compra de material vegetativo.....	25
3.3.1.4.	Preparación de la almaciguera.....	25
3.3.2.	Tratamiento y preparación del sustrato de las almacigueras.....	26
3.3.3.	Siembra del experimento	26
3.3.4.	Labores culturales.....	26
3.3.4.1.	Riego.....	26
3.3.4.2.	Deshierbes	27
3.3.4.3.	Control de enfermedades y plagas.....	27
3.3.5.	Diseño experimental	27
3.3.6.	Factores de estudio.....	28
3.3.6.1.	Formulación de tratamientos (interacción de A X B).....	28
3.3.7.	Croquis experimental	29
3.3.8.	Variables de respuesta.....	30
3.3.8.1.	Porcentaje de germinación.....	30
3.3.8.2.	Altura de la plántula de la Tara.....	30
3.3.8.3.	Determinación de Número de hojas	31
3.3.8.4.	Determinación de diámetro del tallo	31
3.3.8.5.	Largo de la raíz	31
3.3.9.	Germinación en el almacigo.....	31
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1.	Determinación de características físicas de la semilla en laboratorio	32
4.1.1.	Pureza	32
4.1.2.	Cantidad de semillas por kilogramo.....	33

4.2.	Comportamiento climático de la carpa solar.....	34
4.2.1.	Temperatura en el periodo de la investigación	34
4.2.2.	Humedad relativa en el periodo de la investigación.....	35
4.3.	Variables de evaluación de campo	37
4.3.1.	Germinación y Emergencia en el almacigo	37
4.3.2.	Altura de la planta (cm)	40
4.3.3.	Número de hojas.....	43
4.4.	Diámetro de tallo de la planta.....	44
4.5.	Largo de raíz.....	46
5.	CONCLUSIONES.....	49
6.	RECOMENDACIONES.....	51
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	52
8.	ANEXOS	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Taxonomía de la Especie (<i>Caesalpinia spinosa</i>).....	7
Cuadro 2.	Análisis de varianza de germinación	38
Cuadro 3.	Análisis comparativo de Duncan germinación	39
Cuadro 4.	Análisis de Varianza para la altura de planta.....	40
Cuadro 5.	Análisis comparativo de Duncan para altura de planta	41
Cuadro 6.	Análisis de Varianza para el número de hojas de la tara	43
Cuadro 7.	Análisis comparativo de Duncan de numero de hojas	44
Cuadro 8.	Análisis de varianza para diámetro de tallo de planta de Tara.....	45
Cuadro 9.	Análisis comparativo de diámetro de tallo	46
Cuadro 10.	Análisis de varianza para largo de raiz	47
Cuadro 11.	Prueba de Duncan para largo de raiz.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Croquis del diseño	30
Figura 2.	Pureza de semilla de tara (Fuente Propia)	32
Figura 3.	Datos de pesaje de semillas	33
Figura 4.	Temperatura registrada durante el periodo del estudio en la carpa solar (Elaboración propia, 2024)	34
Figura 5.	Grafica de evaluación de humedad (Fuente elaboración propia).....	36
Figura 6.	Porcentaje de germinación (Fuente elaboración propia)	37

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Reconocimiento del área de estudio	62
Anexo 2.	Semilla	62
Anexo 3.	Preparación de área de estudio	62
Anexo 4.	Preparación de almacigueras.....	63
Anexo 5.	Preparación de la semilla tara	63
Anexo 6.	Sembrado de las semillas	63
Anexo 7.	Toma de datos	64
Anexo 8.	Riego y cuidado	64
Anexo 9.	Cuaderno de campo.....	65
Anexo 10.	Promedio de temperatura.....	65
Anexo 11.	Calculo de germinación.....	66
Anexo 12.	Cálculos para altura de planta.....	67
Anexo 13.	Cálculos de numero de hojas	68
Anexo 14.	Cálculos de diámetro de tallo	69
Anexo 15.	Cálculos de largo de raíz.....	70

ABREVIATURAS

Mm	Milímetros
cm	Centímetros
m	Metros
m ²	Metros cuadrados
L	Litro
Km	Kilometros
m ³	Metros cúbicos
ppm	Partes por millón
mEq	Miliequivalente
dS	DeciSiemens
g	Gramo
msnm	Metros sobre nivel del mar
Π	Pi
μm	Micrón
CO ₂	Dióxido de carbono
°C	Grados Celsius
HR%	Humedad relativa en porcentaje
%	Porcentaje

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la estación experimental de Kallutaca con el objetivo de optimizar la germinación de semillas de tara (*Caesalpinia spinosa*) mediante técnicas de escarificación física utilizando agua a distintas temperaturas. Asimismo, se evaluó el efecto de tres tipos de sustrato en la fase inicial de desarrollo de la planta, considerando su influencia en el crecimiento radicular y aéreo. Se aplicaron tres tratamientos de escarificación: remojo en agua por 24 horas, ebullición por 2 minutos y ebullición por 4 minutos. Las semillas fueron sembradas en sustratos con proporciones variables de tierra local, humus de lombriz y arenilla (3:2:1, 2:2:2 y 1:2:3), bajo un diseño experimental de bloques completos al azar (DBA) con arreglo bifactorial. El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA y la prueba de comparación múltiple de Duncan al 5 % de significancia, utilizando el software InfoStat.

Los resultados evidenciaron que el tratamiento de escarificación por ebullición durante 4 minutos fue el más efectivo, alcanzando una tasa de germinación del 64,44 %, seguido por el tratamiento de 2 minutos (52,78 %) y el remojo por 24 horas (35 %). En cuanto al sustrato, la mezcla 3:2:1 (tierra local, humus de lombriz, arenilla) presentó el mayor porcentaje de germinación (55,56 %), superando a las combinaciones 2:2:2 (50 %) y 1:2:3 (47,78 %). Estos resultados sugieren que tanto la intensidad del tratamiento térmico como la composición del sustrato influyen significativamente en la eficiencia de la pre-germinación.

ABSTRACT

This research was conducted at the Kallutaca Experimental Station with the objective of optimizing the germination of tara seeds (*Caesalpinia spinosa*) through physical scarification techniques using water at different temperatures. Additionally, the effect of three types of substrate was evaluated during the initial phase of plant development, considering their influence on root and shoot growth. Three scarification treatments were applied: soaking in water for 24 hours, boiling for 2 minutes, and boiling for 4 minutes. The seeds were sown in substrates with varying proportions of local soil, worm humus, and sand (3:2:1, 2:2:2, and 1:2:3), under a randomized complete block design (RCBD) with a bifactorial arrangement. Statistical analysis was performed using ANOVA and Duncan's multiple range test at a 5% significance level, employing InfoStat software.

The results showed that the scarification treatment involving boiling for 4 minutes was the most effective, achieving a germination rate of 64.44%, followed by the 2-minute boiling treatment (52.78%) and the 24-hour soaking treatment (35%). Regarding the substrate, the 3:2:1 mixture (local soil, worm humus, sand) yielded the highest germination percentage (55.56%), outperforming the 2:2:2 (50%) and 1:2:3 (47.78%) combinations. These findings suggest that both the intensity of thermal treatment and the substrate composition significantly influence pre-germination efficiency.

1. INTRODUCCIÓN

Los bosques naturales en Bolivia constituyen una tradicional fuente de múltiples recursos complementarios a la subsistencia diaria de los pueblos rurales, originarios e indígenas. También son la base de una creciente industria de bienes maderables y no maderables que generan fuentes de trabajo e importantes ingresos al Estado y Gobiernos locales. Gran parte de los bosques bolivianos conforman ecosistemas forestales tropicales que son internacionalmente reconocidos por las funciones y servicios ambientales que cumplen como mitigadores de cambios climáticos, eco - turístico, fuentes de biodiversidad y reguladores de regímenes hídricos.

La Tara es producida en varias zonas del país, siendo cultivada en terrenos situados entre los 1000 y 2900 msnm, entre los principales productores en el Perú se encuentran los departamentos de: Cajamarca, La Libertad, Ayacucho, Huancavelica, Apurímac, Ancash y Huánuco. La tara está en Bolivia en los valles mesotérmicos. Existen cultivos en el departamento de Tarija, en Valle grande, Comarapa y Saipina; en Chuquisaca, Potosí y en Cochabamba (Mancero, 2009).

Si bien la producción de la Tara es una alternativa nueva, la misma no se encuentra muy difundida entre los agricultores, ello hace que se tenga muchos problemas en el proceso de la germinación.

Es importante conocer la capacidad de germinación de las semillas, ya que los ensayos de germinación, juegan un papel muy importante en la producción y propagación de plantas destinadas tanto a plantaciones o para áreas deforestadas en nuestra ciudad, de ello se obtiene los resultados para utilizar los mejores y más efectivos tratamiento pre-germinativos y sustratos adecuados.

1.1. Antecedentes

Por su parte, Mendoza (2015) menciona que la semilla tara (*Caesalpinia spinosa*) fueron sometidas a escarificación física obtuvieron buenos resultados. Como el tratamiento en agua en estado de ebullición por 2 y 4 minutos, y el sustrato que tenía la misma cantidad de humus, tierra del lugar y arena fina (2;2;2) es el sustrato mas adecuado para su desarrollo.

1.2. Planteamiento del problema

La semilla de *Caesalpinia spinosa* (tara) posee un tegumento externo extremadamente duro e impermeable, lo que impide la absorción de agua y oxígeno, elementos esenciales para el inicio del proceso germinativo. Esta característica natural genera una baja tasa de germinación en condiciones normales, lo cual representa un obstáculo significativo para su propagación en viveros y proyectos de reforestación o producción agroindustrial.

Ante esta limitación, se propone aplicar técnicas de escarificación física, específicamente el uso de agua a diferentes temperaturas, como método para debilitar el tegumento y facilitar la entrada de agua al embrión. Además, se evaluará el efecto de diferentes tipos y cantidades de sustrato, ya que el medio de cultivo también influye directamente en la emergencia, desarrollo radicular y vigor de las plántulas.

Esta evaluación busca identificar cuál combinación de tratamiento térmico y sustrato resulta más efectiva para optimizar la pre-germinación de la semilla de tara, contribuyendo así a mejorar los procesos de producción de esta especie de alto valor ecológico, económico y medicina.

1.3. Justificación

La presente evaluación se justifica por la necesidad de mejorar la eficiencia en la germinación de la semilla de tara (*Caesalpinia spinosa*), una especie de gran valor ecológico, medicinal, alimenticio e industrial, cuya propagación se ve limitada por la dureza de su testa que retrasa el desarrollo embrionario. Al aplicar técnicas de escarificación física con diferentes temperaturas de agua y evaluar diversos tipos y cantidades de sustrato, se busca identificar el tratamiento más efectivo para acelerar la

emergencia de plántulas, optimizar su crecimiento inicial y facilitar su uso en proyectos de reforestación, conservación de suelos y producción sostenible de taninos e hidrocoloides, contribuyendo así al aprovechamiento integral de esta especie nativa en beneficio del medio ambiente y la economía local.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar el comportamiento germinativo de la semilla de tara (*Caesalpinia spinosa*) bajo el efecto de tres tratamientos pre-germinativos y tres diferentes niveles de sustratos en la estación experimental de Kallutaca.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar que método de escarificación física con diferentes temperaturas de agua para estimular la pre-germinación de la semilla Tara (*Caesalpinia spinosa*).
- Determinar el sustrato más adecuado para el crecimiento de la semilla de la tara (*Caesalpinia spinosa*).
- Analizar la relación del desarrollo radicular y la parte aérea de la tara con diferentes métodos de escarificación.

1.5. Hipótesis

En la evaluación del comportamiento germinativo de la semilla de tara (*Caesalpinia spinosa*) bajo el efecto de tres tratamientos pre-germinativos y tres diferentes niveles de sustratos en la estación experimental de Kallutaca no existen diferencias.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origen y distribución geográfica mundial y nacional

La tara (*Caesalpinia spinosa*) es una planta nativa de Perú, utilizada desde la época prehispánica en la medicina antigua y en tiempos actuales como materia prima en el mercado a nivel mundial de hidrocoloides alimenticios y taninos (Goycochea, 2010).

En Ecuador la población de tara se registra principalmente, al Sur, en la provincia de Loja, en el Norte, en las provincias de Imbabura, Pichincha y Cotopaxi y en el Centro, en Tungurahua (Baños, Ambato) y Chimborazo (Riobamba) (Velásquez, 2021).

Se conoce que la tara se distribuye mundialmente entre los 4 a 32° S, abarcando zonas áridas y semiáridas de Venezuela, Colombia, Ecuador, Bolivia, Perú y el norte de Chile, hoy en día esta especie se encuentra también en otros lugares del mundo como consecuencia de la salida indiscriminada de material genético hacia Europa (Italia), África (Sudáfrica, Kenia, Marruecos y Argelia) y Asia (China), aunque en este último país la especie no prosperó dadas las condiciones agroclimáticas (Villanueva, 2016).

2.2. La semilla tara en Bolivia

Es un recurso forestal andina presente en Bolivia, Ecuador y Perú. La tara es un árbol de cuyas vainas y semillas se extrae una serie de productos, entre los más importantes un tanino utilizado para curtiembre y una goma utilizada en la industria alimenticia (Mendoza, 2015).

2.3. Variables edafoclimáticas

Su temperatura de adaptación varía entre los 12 a 18 °C, pudiendo aceptar hasta 20 °C. En los valles interandinos la temperatura ideal es de 16 a 17 °C, con una precipitación requerida de 400 a 600 mm, pero también se encuentra en zonas que presentan desde 200 a 750 mm de promedio anual, se desarrolla en un amplio rango de humedad relativa entre 60 a 80 %, se puede desarrollar en suelos de textura franco, franco arenoso y franco

arcilloso con un pH que va desde 6 a 7,5, todas estas variables son determinantes en el crecimiento y productividad de los árboles de tara (Mancero, 2009).

2.4. Clasificación taxonómica y descripción Botánica de tara (*Caesalpinia spinosa*).

La tara es un árbol el cual pertenece a la familia Leguminosaceae, su nombre científico es *Caesalpinia spinosa* (Mol.) Kuntze, posee una copa irregular y globosa de hasta 10 m de fronda, cuando aún son tiernos llegan a una altura promedio de 5 m, y en algunos lugares hasta los 10 m en su senescencia (Chuquiruna, 2010).

2.4.1. Raíz

Su raíz es axonomorfa, tiene la facilidad de profundizarse y buscar la capa freática, esta característica es importante, por ello, encontramos a esta especie en lugares con poca humedad edáfica, en lugares áridos. Las raíces secundarias crecen cercanas a la superficie del terreno, originan yemas adventicias que posteriormente generan nuevas plantas cuando están descubiertas (reproducción vegetativa) y la ramificación de la raíz es muy abundante, de varios órdenes y finalmente terminan en una red de raicillas densas y frágiles (Castillo, 2020).

2.4.2. Tallo

Generalmente el eje del tallo es uno solo, también se encontró individuos con más de un eje principal, tienen tendencia a ramificarse desde abajo formando fustes únicos y rectos, otras veces se encuentra un eje principal y varias ramas secundarias que nacen del cuello de la planta. En tallos de plantas adultas, la corteza es rugosa y el tallo principal es más robusto, la copa amplia pudiendo llegar de 3 a 15 m de longitud (Castillo, 2020).

2.4.3. Hojas

Son verdes lustrosas, glabras, compuestas, bipinnadas y alternas; folíolos de primer orden opuestos de 16 cm de longitud y de uno a cuatro pares; de dos a ocho pares de folíolos subsésiles de segundo orden de 4 cm de largo oblongo asimétrica, con el ápice redondeado o truncado borde entero; nerviación pinnada de los folíolos de segundo orden

con diez a catorce pares de 8 nervios secundarios; en el raquis en la zona de inserción de los folíolos de primer y segundo orden en el envés dos acúleos por cada folíolo, y en la parte del haz un acúleo en el raquis entre los folíolos de primer al segundo par de folíolos (Cabello, 2010).

2.4.4. Inflorescencia

En racimos terminales simples o compuestos de 2 a 3 ramas, 15 a 20 cm de largo, número de flores hasta 29 con 10 mm de tamaño, hermafroditas, zigomorfas, heteroclamídeas; cáliz irregular provisto de un sépalo, corona con 5 pétalos libres, amarillos o amarillos rojizos, 5 a 8 mm de largo, estambres 10, adherido a la base del cáliz de 1 cm de largo, incurvado, filamento pubescente en la parte basal, anteras rojas, 0,5 a 0,8 mm de longitud, basifijas, con dehiscencia longitudinal, pistilo pubescente, ovario súpero, unilocular, 1 a 10 óvulos, estilo incurvado, estigma simple (Soto, 2012).

2.4.5. Frutos

Sus frutos son vainas explanadas de color naranja de 8 cm a 10 cm de largo y 2 cm de ancho aproximadamente, que contienen de 4 a 7 granos de semilla redondeadas de 0.6 cm a 0.7 cm de diámetro y son de color pardo negruzco cuando están maduros (Paco, 2020).

2.4.6. Semillas

Según (Ortiz, 2022). Son ovoides, duras, a veces reniformes, comprimidas, de color verdes en estado inmaduro y café o pardo al madurar, generalmente entre 1 a 6 por fruto, pueden llegar hasta 10 mm de largo por 8 mm de ancho posee tres partes fundamentales (tegumento, endospermo y embrión). Su tegumento posee dos capas, una externa (testa) conformada por macroesclereidas, característica de las leguminosas, y una interna (tegmen).

El embrión está conformado por el eje embrionario y los cotiledones, donde el eje embrionario a la vez está conformado por la radícula, hipocótilo y la plúmula. La plúmula desde su inicio es bipinnada y al desarrollar forman los protófilos (hojas primarias) de la joven planta. La especie al ser dicotiledónea, posee dos cotiledones (excepcionalmente

hasta tres) oblongos, aplanados y en la superficie interna presenta nervaduras; ambos cotiledones encierran al eje embrionario y la radícula sobresale en uno de los bordes (Ortiz, 2022).

2.4.7. Clasificación taxonómica

Según, Molina (2001) la (*Caesalpinia spinosa*), comúnmente conocida como Tara o Guarango, es una leguminosa de porte arbóreo o arbustivo natural del Perú, Ecuador, Colombia y Chile. *Caesalpinia spinosa* es cultivada como fuente de taninos, forraje para animales y como planta ornamental debido a sus coloridas flores e inflorescencias. *Caesalpinia spinosa* se encuentra en la familia de las Fabaceae. Se distribuye en el norte de América del Sur y de África como se ve en el cuadro 1.

Cuadro 1. Taxonomía de la Especie (*Caesalpinia spinosa*)

Reino:	Plantae
Division:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Fabales
Familia:	Caesalpinaceae
Nombre científico:	<i>Caesalpinia spinosa</i>
Nombre común o vulgar:	Tara, Taya, Guarango

Fuente: Molina (2009).

2.5. Germinación

Se denomina colectivamente como germinación, al proceso que ocurre desde el momento en que el embrión reinicia su crecimiento hasta la plántula se establece (Cronquist, 1997).

La germinación de la semilla es del desarrollo del embrión hasta la formación de la planta durante la germinación ocurre una serie de cambios bioquímicos consistentes principalmente la solubilización de los azúcares, proteínas y grasas de reservas que sufren variaciones para poder ser asimilados (Tarima, 1998).

Según Duffus y Slaughter (1980), el proceso de germinación está compuesto de tres fases simultáneas:

- Absorción de agua, por imbibición, que hace que la semilla se hinche y acabe abriéndose la cubierta seminal.
- Actividad enzimática e incremento de las tasas de respiración y asimilación que indican la utilización de alimento almacenado y su trasposición a las zonas de crecimiento. Agrandamiento y divisiones celulares que traen como consecuencia la aparición de la radícula y la plúmula.
- Agrandamiento y divisiones celulares que traen como consecuencia la aparición de la radícula y la plúmula.

2.5.1. Proceso de la germinación

2.5.1.1. Imbibición

El agua penetra a la semilla por la imbibición que produce al poco tiempo aumento del volumen (hinchazón). Se destacan una serie de cambios, el embrión respira rápidamente y empieza a crecer tomando el alimento que ha estado almacenando en la semilla, o en otro caso lo toman de los cotiledones, toda esta actividad tiene como consecuencia el rompimiento de los tegumentos con esto el embrión se libera y reanuda su desarrollo (Mendoza, 2015).

2.5.1.2. Digestión

La digestión es el inicio de una actividad enzimática con aumento de la respiración y asimilación, que indican la utilización del alimento almacenado y su traslación a las áreas de crecimiento (Zalles, 1988).

2.5.1.3. Movilización y transporte de alimento

Según Ferry y Ward (1996), citado por Mamani (2006), menciona que los procesos de movilización y transporte de los alimentos digeridos se transforman en cuerpos vivos (protoplasma) antes de ser usados en el proceso de crecimiento.

2.5.1.4. Respiración

Según Asad, Ferry y Ward (1996), citado por Mamani (2006), mencionan que, es el proceso generador de la energía es decir, las células toman oxígeno del aire y del agua utilizando en procesos exudativas para producir energía química, biológicamente el ATP.

2.5.2. Condiciones para la germinación

La semilla inicia su germinación bajo ciertos factores internos como son: el crecimiento y formación del embrión, los que se consideran básicos, sin embargo hay factores ambientales que son condiciones indispensables para la germinación como son: el agua, aire, temperatura y luz (Goitia, 2003).

2.5.2.1. Agua

Ninguna semilla puede germinar si no está en presencia de agua, las semillas por lo general tienen un contenido de agua relativamente bajo y los procesos fisiológicos para la germinación ocurren solo cuando la proporción de agua ha aumentado (Mendoza, 2015).

2.5.2.2. Aire

Las semillas de distintas especies tienen diversas exigencias de oxígeno de gran importancia para la germinación, de gran importancia ya que las semillas respiran rápidamente, es necesario para llevar a cabo las reacciones químicas que transforman las reservas junto a fenómenos respiratorios se intensifican a medida que la plántula desarrolla. La concentración de oxígeno en el suelo es afectada por la cantidad de agua presente (no germina en suelos anegados o encharcados), lo mismo que cuando se siembran muy profundas (Mendoza, 2015).

2.5.2.3. Temperatura

Presenta gran interés y constituye un factor capaz de incluir la germinación y crecimiento de las plantas, también actúa ecológicamente siendo en buen parte el factor de mayor importancia en la distribución de las plantas. Las semillas difieren en cuanto a las exigencias de temperatura y depende de las especies y del medio ambiente. Para cualquier especie existe un máximo y un mínimo, por encima o debajo del cual la germinación no ocurre (Mendoza, 2015).

2.5.2.4. Luz

El efecto de la luz en la germinación difiere en las distintas especies algunas las requieren otras no. El efecto de la luz puede variar de acuerdo con las condiciones ambientales se dice que la cantidad exigida puede variar entre 20.000 luz y 100.000 luz (Mendoza, 2015).

2.6. Métodos pre germinativos

Un gran número de semillas de especies forestales no germinan debido a que la testa dura impide la entrada de agua (latencia física) y la semilla no germina al menos que la testa sea escarificada. En muchas de estas especies, la capa exterior consiste en una cubierta impermeable de células enmalladas. Por diversas razones (por ejemplo, latencia fisiológica, dureza de las semillas, sustancias inhibidoras) un número considerable de semillas duras o frescas pueden permanecer al final del análisis de germinación. Para algunas semillas de árboles y arbustos, donde se sabe por experiencias que una parte de las semillas no germinan, debido a la dormancia, se prescribe un segundo análisis que incorpora un procedimiento especial de ruptura de la dormancia que preferiblemente debe ejecutarse simultáneamente con la prueba normal (Varela, 2011).

2.6.1. Escarificación mecánica

La escarificación mecánica puede hacerse por medio de un escarificador eléctrico o con cualquier elemento abrasivo que corte, perforo o raspe el tegumento (Sanabria, 2004).

2.6.2. Cortado de la testa de la semilla

La semilla se corta, perfora, raspa o lija para mejorar la permeabilidad a la humedad y los gases. Se debe tener cuidado para escarificar el tegumento de la semilla en un lugar adecuado con el fin de evitar dañar el embrión y la plántula resultante. Los mejores lugares son o bien inmediatamente por encima de las puntas de los cotiledones o a los lados de los cotiledones (Varela, 2011).

2.6.3. Lijado

Frotar las semillas con papel lija, rayarlas con una lima y romper las cubiertas con un martillo o entre las mordazas de un tornillo de banco, son métodos simples y útiles para pequeñas cantidades de semillas de tamaño grande. Para operaciones en gran escala se usan escarificaciones especiales, la escarificación no debe hacerse hasta el punto que dañe las semillas. Para determinar el tiempo óptimo, se puede poner a germinar un lote de prueba, se pueden remojar las semillas para observar el hinchamiento o se puede examinar con un lente de mano la cubierta de la semilla. Estas deben aparecer de tono mate, pero no tan picadas o partidas que queden expuestas las partes internas de las semillas. La escarificación mecánica es simple y efectiva en muchas especies, si se dispone de equipo apropiado. Después del tratamiento las semillas queden secas y pueden ser plantadas de inmediato, con sembradora mecánica, aunque las semillas escarificadas son más susceptibles a ser dañadas por organismos patógenos y no se guarda también como la semilla no escarificada (Aguilar, 2020).

2.6.4. Escarificación ácida

Es un método muy eficaz para interrumpir el reposo debido a la cubierta seminal. Si se sumergen las semillas en ácidos fuertes, como el ácido sulfúrico, o en disolventes orgánicos como la acetona o el alcohol, se puede interrumpir este tipo de reposo. Para este propósito incluso se ha empleado con éxito el agua hirviendo, especialmente para algunas leguminosas (Mérola, 2012).

2.6.5. Remojo en agua caliente y fría

La intención de remojar las semillas en agua fría o caliente es suavizar las semillas y reducir el tiempo de germinación, en algunos casos este tratamiento supera la latencia de las cubiertas de las semillas y en algunos casos estimula la germinación, algunas cubiertas impermeables pueden ser suavizadas colocando las semillas de cuatro a cinco veces su volumen en agua, se retira el fuego de inmediato y las semillas se dejan remojar en el agua que se enfríe gradualmente por 12 a 24 horas, a continuación separar las semillas hinchadas de las que no se hincharon mediante cribas adecuadas y se someterá estas últimas de nuevo al mismo tratamiento, las semillas deben plantarse después del tratamiento con agua caliente (Zambrano 2018).

2.6.6. Lixiviación

El remojo en agua a temperatura ambiente a veces incrementa la velocidad de germinación en semillas sin latencia y ligeramente latentes. El efecto es la imbibición más rápida de la humedad que rodea la semilla de la que se puede lograr una cama humedecida de semilla (Catie, 2000).

El crecimiento vegetativo es un proceso fisiológico muy complicado y dependiente de la mayoría de otros factores que tienen un lugar en una planta como: fotosíntesis, respiración, absorción de agua, sustancias nutritivas, minerales y orgánicas. Los procesos fisiológicos se caracterizan por el desarrollo de los órganos de asimilación, como las raíces, tallos y hojas (Mendoza, 2015).

2.7. Sustrato

El sustrato es el medio de crecimiento que tiene como función proporcionar a las plantas agua, aire, nutrientes minerales y soporte físico durante su permanencia en el vivero, encontrar un sustrato que cumpla con las funciones antes mencionadas resulta difícil, es por ello que se suele mezclar distintos materiales cuyas propiedades individuales logran en conjunto proveer a la planta nutrientes minerales, agua, aire y soporte físico durante su permanencia en el vivero, para su elaboración se puede utilizar compost, arena de río, estiércol descompuesto, tierra de capa arable de campos agrícolas, viruta, etc. Estos

materiales se mezclan buscando que cada uno aporte características al sustrato que favorezcan al crecimiento y desarrollo de las plantas (Buamscha, 2012).

2.7.1. Funciones del sustrato

El sustrato es el medio en el cual emergen las semillas. Este debe ser de un material fino, poroso, liviano y suelto, de tal manera que permita una buena formación de la raíz principal en todas las especies, por tanto, el sustrato debe tener una textura arenosa a limosa (Fossatti, 2010).

2.7.2. Descripción de los materiales del sustrato

2.7.2.1. Arena fina

Este material permite la penetración de la humedad sea rápida y uniforme en el sustrato debido a su porosidad, permitiendo el drenaje adecuado de excedente agua, además facilita el crecimiento y buena formación de las raíces (Fossatti, 2010).

También este tipo de arenilla es de estructura suelta, cuando la húmeda tiende a romperse, no se pega en los dedos, es de textura liviana, 6,5 y 7,5 de pH aproximadamente. Se localizan en los ríos. Permite adecuado drenaje, facilita el crecimiento y buena formación de raíces (Jimenez, 2010).

2.7.2.2. Tierra del lugar.

Los suelos clasificados como franco arenoso o franco son ingredientes buenos para la preparación de mezclas de suelo. Los francos tienen las características físicas deseables de las arcillas y arenas sin mostrar las propiedades indeseables de soltura externa, baja fertilidad y retención de humedad (Olson, 2012).

Los suelos de textura franca reúnen las buenas condiciones, porque son capaces de sostener bosques, de mejor crecimiento que los suelos arcillosos y arenosos (Olson, 2012).

2.7.2.3. Humus de lombriz

El humus son las deyecciones de las lombrices, se le ha dado ese nombre por su semejanza con el humus del suelo, que proviene de la descomposición de todos los residuos orgánicos del suelo sin embargo, existe diferencias entre ambos; el humus del suelo es el producto del “metabolismo” del suelo, el humus proveniente de las lombrices es un estiércol especial, con características nutritivas para el suelo, el humus de lombriz posee una elevada carga microbiana, contribuyendo a la protección de la raíz de bacterias y hormonas como el ácido indol acético y ácido giberélico, estimulando el crecimiento y las funciones vitales de la planta, es uno de los pocos fertilizantes orgánicos, y este abono orgánico es el único con fibra bacteriana (40 a 60 millones de microorganismo por cm^3), capaz de enriquecer y renovar las tierras. Su aplicación baja hasta un 40% los costos de fertilización (Mamani, 2014).

2.7.2.3.1. Características físico y químicas del humus de lombriz como sustrato

El humus de lombriz es un fertilizante orgánico 100% natural, que se obtiene de la transformación de residuos orgánicos por medio de la lombriz. En su composición están presentes todos los nutrientes: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Manganese, Hierro y Sodio en cantidad suficiente para garantizar el perfecto desarrollo de las plantas como se muestra en el cuadro (2), además de un alto contenido en materia orgánica. Favorece la circulación del agua, el aire y las raíces. Las tierras ricas en Humus son más esponjosas, más aireadas y menos sensibles a la sequía. Facilita la absorción de los elementos fertilizantes de manera inmediata, siendo su acción prolongada a lo largo de todo el proceso vegetativo. Su pH neutro y su equilibrada relación Carbono/Nitrógeno, permite aplicarlo en contacto directo con la raíz o las semillas, de forma que evita el shock del transplante y facilita la germinación. El conjunto de todas las propiedades descritas, hacen que con su aplicación mejore la estructura y equilibrio del terreno y aumente su capacidad de producción vegetal (Mamani, 2014).

2.7.2.3.2. Propiedades químicas:

Según Mendoza (2015), el uso de ciertos mejoradores del suelo presenta múltiples beneficios agronómicos, entre ellos:

- Incrementa la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, hierro y azufre.
- Incrementa la eficiencia de la fertilización, particularmente nitrógeno.
- Estabiliza la reacción del suelo, debido a su alto poder de tampón.
- Inactiva los residuos de plaguicidas debido a su capacidad de absorción.
- Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas (Mendoza, 2015).

2.7.2.3.3. Propiedades físicas:

Según Candelaria (2013), el uso de lombricomposta presenta múltiples beneficios agronómicos, entre ellos:

- Mejora la estructura, dando soltura a los suelos pesados y compactos y ligando los sueltos y arenosos.
- Mejora la porosidad y, por consiguiente, la permeabilidad y ventilación.
- Reduce la erosión del terreno.
- Incrementa la capacidad de retención de humedad.
- Confiere un color oscuro en el suelo ayudando a la retención de energía calorífica.

Cuadro 2. Cantidades promedios de nutrientes del abono humus de lombriz

Componente	Rango de concentración	Unidad
Humedad	30 – 40	%
Magnesio	0.5 – 2	%
pH	6.8 – 7.2	—
Hierro	0.5 – 1.5	%
Materia orgánica	40 – 70	%
Manganeso	250 – 700	ppm
Nitrógeno	1.5 – 4	%
Cobre	150 – 400	ppm
Fósforo	1 – 3	%
Zinc	350 – 1600	ppm
Potasio	1 – 2.5	%
Cobalto	6 – 90	ppm
Calcio	5 – 11	%
Carga bacteriana	3×10^8 – 6×10^{11}	UFC/g (estimado)

Fuente: Candelaria (2013).

2.7.2.4. Desinfección del suelo

En el suelo coexisten numerosos organismos como insectos, patógenos, virus y bacterias, que cumplen papeles importantes en la actividad biológica y en la descomposición y asimilación de nutrientes. Alguno de estos organismos causa daños y ataques a las semillas o plántulas recién germinadas que pueden dar al traste con la producción de plántulas (Mendoza, 2015).

El mismo autor indica que el procedimiento más utilizado es la desinfección del suelo con formol que contiene 40 %, con gran poder desinfectante. Para esto se prepara una solución compuesta de 20 cc formol y un litro de agua para cada un metro de suelo, la cual riega uniformemente y como es un producto volátil, para que su aplicación resulte eficaz, se cubren las áreas con polietileno o periódico, para evitar la evaporación del formol a los cuatro o cinco días se destapa y se remueve el terreno con un rastrillo a los dos o tres días se puede sembrar. Tiene el inconveniente que destruye todos los microorganismos del suelo, inclusive a los benéficos.

2.8. Procedencia de la semilla

Como menciona Zalles (1998), la procedencia es la fuente geográfica o lugar de origen de un lote de semillas o de polen, en sentido estricto de la palabra, es la localidad geográfica de la que proviene un árbol o árboles madres y dentro de la cual se ha desarrollado por selección natural su constitución genotípica. Esta es un área suficientemente amplia para la recolección del material de reproducción, definida por límites visibles por los cuales su identificación en el terreno es posible, estos deben ser cuidadosamente establecidos teniendo en cuenta la mayor uniformidad fenotípica y ecológica posible.

Menciono Pieter (1982), señala que las plantas por cultivarse deben crecer bajo condiciones ambientales similares a las de los padres, la información completa sobre la procedencia de semillas debe contener los siguientes datos:

- Fecha de recolección de la semilla
- Altitud, ubicación geográfica de la recolección y nombre del lugar
- Nombre vulgares y científicos de los árboles madres, así como su nombre estimado

- Origen de los rosadales, si son naturales o implantados
- Precipitación promedio anual, temperatura máxima y mínima mensuales
- Profundidad, textura, acidez del suelo.

2.9. Propiedades externas de la semilla

2.9.1. Pureza física

Álvarez y Verona (1988), mencionan que este análisis trata de averiguar el porcentaje de semilla pura (por masa) en una muestra de semilla, lo cual servirá para conocer si se trata o no de esa semilla y así se necesitara mayor o menor cantidad para una siembra dada, en conjunción con los resultados de la germinación de la fracción de semilla pura.

Según la Asociación Internacional para el Ensayo de Semilla (ISTA 1976), citado por Zalles (1988), menciona que la expresión semilla pura, hace referencia a la semilla de la especie de que se trate y además de las semillas maduras y sin daños, se incluyen las semillas de tamaño inferior al normal consumidas inmaduras y germinadas siempre que puedan identificarse claramente como potenciales especies de las que se trate y los trozos de semillas rotas cuyo tamaño es superior a la mitad original.

2.9.2. Peso en mil semillas

La Asociación Internacional para el Ensayo de Semilla (ISTA 1976), citado por Zalles (1988), prescribe como ocho réplicas de cien semillas cada una con las que se puede calcular la desviación típica y el coeficiente de variación, así como la media; si el coeficiente de variación es inferior a cuatro, entonces se acepta la media, pero si es superior prescriben otras ocho replicas.

Moreno (1984), indica que el objeto de esta prueba es determinar el peso de mil semillas de una muestra. Esto puede llevarse a cabo:

- En la totalidad de la semilla pura, obtenida en el análisis de pureza.
- En ocho repeticiones de cien semillas cada una, de la semilla pura.

2.9.3. Contenido de humedad de la semilla

Álvarez y Verona (1988), indican que el contenido de humedad de la semilla es sumamente necesario para saber si esta fue cosechada a su tiempo, si ha sido correctamente manipulada y si puede ser almacenada sin riesgo de deterioro. Además sirve para uniformar el contenido de humedad y comparar la masa de la semilla con humedad.

Como menciona Moreno (1984), define que el contenido de humedad es la cantidad de agua que contienen las semillas, expresándose en porcentaje. Esta se puede calcular con base al peso húmedo o seco de la muestra. En investigación frecuentemente se usa el contenido con base en peso seco.

El mismo autor menciona que la humedad es el factor más importante que favorece el deterioro de las semillas, algunas semillas son cosechadas con altos contenidos de humedad que hay que reducir de inmediato mediante secado para evitar deterioros así como la proliferación de hongos e insectos en almacenamiento.

2.10. Propiedades internas de la semilla

2.10.1. Viabilidad

Mesón y Montoya (1993), mencionan con respecto a la viabilidad y practican diversos tipos de ensayo para determinar este dato fundamental, desde los ensayos en germinadora a las pruebas de campo o a las tinciones con productos que solamente tiñen los tejidos vivos, a veces basta con contarlas para conocer si está viva o no, el sabor puede ser muy ilustrativo así como el color a veces simplemente el aspecto inferior.

Zalles (1988), define la viabilidad como la capacidad potencial que posee una semilla para germinar. Esta capacidad depende por un lado del estado de madurez de la semilla y por otro de su capacidad que significa tamaño, color, contenido de humedad, etc.

2.10.2. Germinación y emergencia

Gómez (1972), define a la germinación de una semilla como: “la emergencia y el desarrollo a partir del embrión, de todas aquellas estructuras esenciales, siendo indicativas de su habilidad para producir una planta normal bajo condiciones favorables”.

Carl (1980), define la germinación a la historia de una semilla que solo queda completa cuando esta ha germinado y la plántula ha quedado establecida. Germinación es la reanudación del crecimiento del embrión y termina al aparecer la radícula al exterior de la cubierta seminal, el establecimiento ha recibido varias definiciones pero aquí entendemos por tal el periodo que empieza al final de la germinación y termina cuando la plántula se independiza del alimento acumulado en la semilla.

Duffus y Slaughter (1985), indican que la germinación es un proceso de cambio, de una pequeña estructura inactiva viviendo con abastecimiento mínimo, a una planta que crece activamente, destinada a llegar a ser autosuficiente antes de que los materiales de reserva de la semilla se terminen. La germinación está compuesta por dos fases:

- Inicio del metabolismo activo en el embrión, seguido rápidamente por el crecimiento y diferenciación del embrión, apoyado por la utilización de materiales de reserva embrionaria inmediata.
- Crecimiento continuo del embrión, apoyado por el flujo de productos de la hidrólisis de los cotiledones o reserva alimenticia extraembrionaria tal como el endospermo, esta fase continua hasta que la planta se establece como un organismo fotosintético o muere por haberse terminado la reserva alimenticia.

Fernández y Almora (1989) describen a la germinación como el fenómeno por el cual una semilla ubicada en condiciones favorables, es capaz de dar a partir de su embrión una postura.

Zalles (1988), indica que para un ensayo de germinación de un lote de semillas se toman 400 semillas, para efectuar repeticiones según el tamaño se organizan 4 grupos de 100 y 8 grupos de 50 y 16 grupos de 25 semillas.

2.11. Sanidad de la semilla

Ramos (1990), menciona que antes de almacenar las semillas deben desinfectarse tanto el local donde se van aguardar, como ellas mismas. Las semillas son muy susceptibles al ataque de gorgojos ya sea directamente o a través de los frutos, creando problemas muy serios en los viveros. Cuando estos ataques ocurren temprano antes de la madurez las pérdidas pueden ser inevitables.

William (1991), indica que la manipulación deficiente en el bosque, durante el tránsito o durante el procesamiento deteriora fisiológicamente las semillas aun cuando no existan daños mecánicos ni por hongos. No obstante, es necesario evitar recolectar cosechas que presenten una alta incidencia de ataques de hongos o insectos y efectuar todas las operaciones de recolección, transporte, procesamiento, etc., con la mayor rapidez posible a fin de asegurar que la semilla no resulte ya dañada antes de iniciar el almacenamiento.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación Geográfica

El presente trabajo se realizó en la Universidad Pública de El Alto, en predios del Centro Experimental de Kallutaca de la carrera de Ingeniería Agronómica (Figura 1); situada en la Provincia Los Andes, Municipio de Laja; se ubica al Oeste del Departamento de La Paz (Condori, 2012).

Geográficamente se encuentra entre los paralelos 16°31'27" de Latitud Sur y los paralelos 68°18'32" de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich. A una altitud de 3908 msnm. Sobre la carretera internacional a Desaguadero a una distancia de 26 km de la sede de gobierno del departamento de La Paz (Carita, 2014).



. Figura I: Mapa de ubicación del Centro Experimental de Kallutaca del Municipio de Laja del Departamento de La Paz (Chipana, 2021).

3.1.2. Características Edafoclimáticas

3.1.2.1. Clima

Según Carita (2014), las características climáticas de la zona de estudio son: temperatura promedio 6.8 a 7.9°C con una mínima extrema de -10.8 a -12.2°C y una máxima extrema de 18.3 a 21.3°C y la velocidad del viento es de 9.6 km/h. La evapotranspiración media en los meses de septiembre a febrero fue 5.2 a 6.5 mm en promedio, los meses de marzo a julio disminuye en 4.1 a 4.9 mm, con una acumulación anual de 57.8 mm.

La precipitación anual es de 615.3 mm y el porcentaje de humedad relativa (HR%) en los meses de diciembre a marzo registro valores de 58.7 a 65.1%, y en los meses de junio a agosto 12.7 a 21.4%, dando un promedio anual de 39.2 a 40.1% (Chipana, 2021).

3.1.2.2. Suelo

Los suelos del Campus de Kallutaca pertenecen a la Clase II y III según el sistema de clasificación agrológica. Es en función a sus características físicas, particularmente la presencia de pedregosidad en el relieve colinoso bajo que caracteriza la zona. Por otro lado, los horizontes superficiales son poco espesos variando entre 0.15 a 0.35 m de profundidad, en la generalidad de los casos; la predominancia de mucha grava ocasiona un problema muy serio en el uso racional de estas tierras. Con respecto al contenido de materia orgánica y nitrógeno total, los mismos se consideran bajos con concentraciones del orden del 1.15% y 0.074% respectivamente, la textura predominante es Franco Arcillosa (Herrera, 2010).

3.2. Material genético de estudio

El trabajo de investigación se utilizó la semilla de tara (*Caesalpinia spinosa*) se lo adquirió del Centro de Semillas Forestales “BASFOR”, ubicado en el departamento de Cochabamba.

3.2.1. Material de escritorio

- Laptop
- Cámara fotográfica
- Regla de medición
- Hojas bon tamaño carta
- Impresora
- Cuaderno de campo
- Calculadora
- Bolígrafo
- Lápiz
- Tajador
- Goma
- Escoch

3.2.2. Material de campo

- Clavos
- Martillo
- Chinche
- Calibrador
- Algodón
- Platillo desechable
- Atomizador y regadera

- Balanza eléctrica
- Carretilla
- Pala
- Picota
- Cernidora
- Flexometro
- 2 Almaciguera de madera
- Agrofilm negro
- Clavos
- Nailon
- Nilón negro
- Nilón amarillo
- Malla semi sombra
- Jeringa
- Baldes

3.2.3. Insumos

- Lavandina
- Turba
- Arena fina
- Abono de lombriz
- Tierra del lugar

3.3. Metodología

3.3.1. Desarrollo del ensayo

3.3.1.1. Acondicionamiento del invernadero

El vivero mide 22 m de largo y 10 m de ancho, el alto en la parte posterior es de 3.5 m y la parte anterior tiene una altura de 1.5 m, el cual fue construido con puntales de callapos y el techo con bolillos de 5.5 m los cuales fueron cubierto con agro fil de 250 micrones.

3.3.1.2. Registro de temperaturas y humedad relativa

El registro se realizó dentro del ambiente controlado, desde la etapa de germinación hasta pre- germinación de la tara, con ayuda de un termo – hidrómetro digital. Los datos tomados fueron temperaturas (máximas y mínimas), humedad relativa (máximas y mínimas).

3.3.1.3. Compra de material vegetativo

La semilla de tara (*Caesalpinia spinosa*) se trajo una bolsa de 1 kilo de la ciudad Cochabamba del Centro de Semillas Forestales BASFOR-SAM.

3.3.1.4. Preparación de la almaciguera

Para este propósito se dispuso un espacio de estudio del vivero forestal de Kallutaca. Para la utilización de este espacio se tuvo que realizar la limpieza total del área, ya que se encontró algunas malezas y plantas de anteriores estudios. Una vez hecho esto se procedió a su acondicionamiento.

Entre las actividades relacionadas se tomaron en cuenta como: Preparación inicial del terreno plano, armado y forrado con agro fil negro las dos almaciguera con una pendiente de 2 a 3 %, cuyas medidas de las almacigueras son de 1m de largo por 50 cm de ancho.

3.3.2. Tratamiento y preparación del sustrato de las almacigueras

Terminando de construir las almacigueras (unidades experimentales), primeramente se procedió a la división de los espacios de 20cm por 16.66cm para luego realizar el vaciado de sustrato con sus respectivas cantidades de sustrato de estudio a evaluar cómo ser la, tierra negra, humus de lombriz y arenilla para la respectiva investigación.

Una vez puesto el sustrato con sus respectivas cantidades se realizó la desinfección de una combinación de Hipoclorito de sodio (cloro comercial - uso doméstico), a una dosis de 40 - 50 ml por litro de agua, para que este químico cumpla su efecto de desinfección de la tierra ya preparada para la investigación, luego se procedió a cubrir con un nailon blanco y para así mantenerlo cubierto durante 2 días (evitando la volatilización de los gases), una vez ya transcurridos el tiempo se destapo y se dio un día más para su venteado, ya que es una técnica preventiva de enfermedades fungosas, patógenos y plagas.

3.3.3. Siembra del experimento

Se procedió a realizar la siembra en fecha de 04 de marzo del 2024 almacenando 20 semillas por tratamiento 180 semillas por repetición es decir 540 semillas sembradas para todo el experimento, cabe recordar que la siembra de las semillas se hicieron de forma directa en las camas de almácigos preparados, cada tratamiento 3 repeticiones, conformadas con 4 hileras cada una con 5 semillas, tomando en cuenta una profundidad de 2 veces el tamaño de la semilla, aproximadamente 2 a 3 mm, procedimiento recomendado por (Goiti,2003).

Inmediatamente después de la siembra, se procedió a un riego ligero, para que de esa manera las semillas encuentren las condiciones adecuadas para su germinación y posterior emergencia de las plántulas.

3.3.4. Labores culturales

3.3.4.1. Riego

El riego a las almacigueras se realizó día por medio para que se mantenga húmedo el sustrato para así facilitar la germinación y una vez ya observando el primer brote se

cambió el riego que fue cada dos a tres veces por semana, tomando en cuenta la necesidad del cultivo (humedad de suelo).

3.3.4.2. Deshierbes

En las almacigueras el problema de competencia de las malezas es generalmente agresiva para las plántulas, su eliminación desde el momento de la emergencia de las plántulas de Tara es aconsejable, lo cual se considera una actividad importante dentro de los cuidados en el almacigo, esta labor se realizó 1 vez por semana de forma manual.

3.3.4.3. Control de enfermedades y plagas

Debido a la previa desinfección de sustrato antes de la siembra, no se produjo ningún problema de importancia en cuanto a enfermedades y plagas.

3.3.5. Diseño experimental

Para la evaluación y análisis de datos registrados durante el experimento de este estudio de investigación, fue planteado el diseño experimental DBCA (Diseño Bloques Completos al Azar) con arreglo bifactorial. Hurtado y Merino (1994), recomienda este diseño experimental por tratarse de un estudio a campo abierto, en el diseño correspondiente se asignó 9 tratamientos con 1 testigo con tres repeticiones, teniendo un total de 30 unidades experimentales.

Por otro lado Rodríguez (1992), menciona que en la investigación agrícola se planea la aplicación de factoriales, a un grupo de unidades experimentales, con el fin de observar los efectos simples y la respuesta a la interacción.

Se tuvo el siguiente modelo aditivo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Una observación de la variable de respuesta.

μ = Media poblacional.

α_i = Efecto de la i-ésima nivel del factor A (proceso físico con diferentes temperaturas de agua).

β_j = Efecto de la j-ésima nivel del factor B (tres diferentes niveles de sustrato).

$\alpha\beta_{ij}$ = Efecto del i-ésimo nivel del factor A, con el j-ésimo nivel del factor B (interacción AxB).

ϵ_{ijk} = Error experimental de la parcela (Eb).

3.3.6. Factores de estudio

Entre los factores de estudio que se plantearon para el trabajo de investigación se designaron a los tratamientos pre-germinativos como el factor A (semilla) y a los sustratos como el factor B (Sustrato).

Factor A: (Tratamiento pre-germinativo.

a_1 = Escarificando la semilla (24 hrs).

a_2 = Remojo en agua a hervida en ebullición por 2 minutos.

a_3 = Remojo en agua a hervida en ebullición por 4 minutos.

Factor B: Sustrato.

b_1 = Tierra del lugar + Humus de lombriz + Arenilla 3:2:1.

b_2 = Tierra del lugar + Humus de lombriz + Arenilla 2:2:2.

b_3 = Tierra del lugar + Humus de lombriz + Arenilla 2:3:1.

3.3.6.1. Formulación de tratamientos (interacción de A X B)

La distribución de la evaluación fue:

T_1 = Escarificando la semilla (24 hrs) + Tierra del lugar + Humus de lombriz + Arenilla 3:2:1.

T_2 = Escarificando la semilla (24 hrs)+ Tierra del lugar + Humus de lombriz + Arenilla 2:2:2.

T_3 = Escarificando la semilla (24 hrs) + Tierra del lugar + Humus de lombriz + Arenilla 2:3:1.

T_4 = Remojo en agua a hervida en ebullición por 2 minutos + Tierra del lugar + Humus de lombriz + Arenilla 3:2:1.

T_5 = Remojo en agua a hervida en ebullición por 2 minutos + Tierra del lugar + Humus de lombriz + Arenilla 2:2:2.

T_6 = Remojo en agua a hervida en ebullición por 2 minutos + Tierra del lugar + Humus de lombriz + Arenilla 2:3:1.

T_7 = Remojo en agua a hervida en ebullición por 4 minutos + Tierra del lugar + Humus de lombriz + Arenilla 3:2:1.

T_8 = Remojo en agua a hervida en ebullición por 4 minutos + Tierra del lugar + Humus de lombriz + Arenilla 2:2:2.

T_9 = Remojo en agua a hervida en ebullición por 4 minutos + Tierra del lugar + Humus de lombriz + Arenilla 2:3:1.

3.3.7. Croquis experimental

En la presente investigación los tratamientos están distribuidos aleatoriamente en las unidades experimentales donde las medidas del almacigo son de ancho 50 cm y largo 1 m y la división de cada tratamiento es de 16,66 cm por 20 cm y la siembra fue de distancia de surco de 4,16 cm y la distancia de planta fue de 4 cm.

Se evaluaron la escarificación física mediante diferentes temperaturas de agua para estimular la pre-greminación con tres diferentes niveles de sustrato de la semilla tara (*Caesalpinia spinosa*).

T_1 = Escarificación de semilla (24 hrs) = Tierra del lugar, Humus de lombriz, Arenilla 3:2:1.

T_2 = Escarificación de semilla (2 min) = Tierra del lugar, Humus de lombriz, Arenilla 2:2:2.

T_3 = Escarificación de semilla (4 min) = Tierra del lugar, Humus de lombriz, Arenilla 2:3:1.

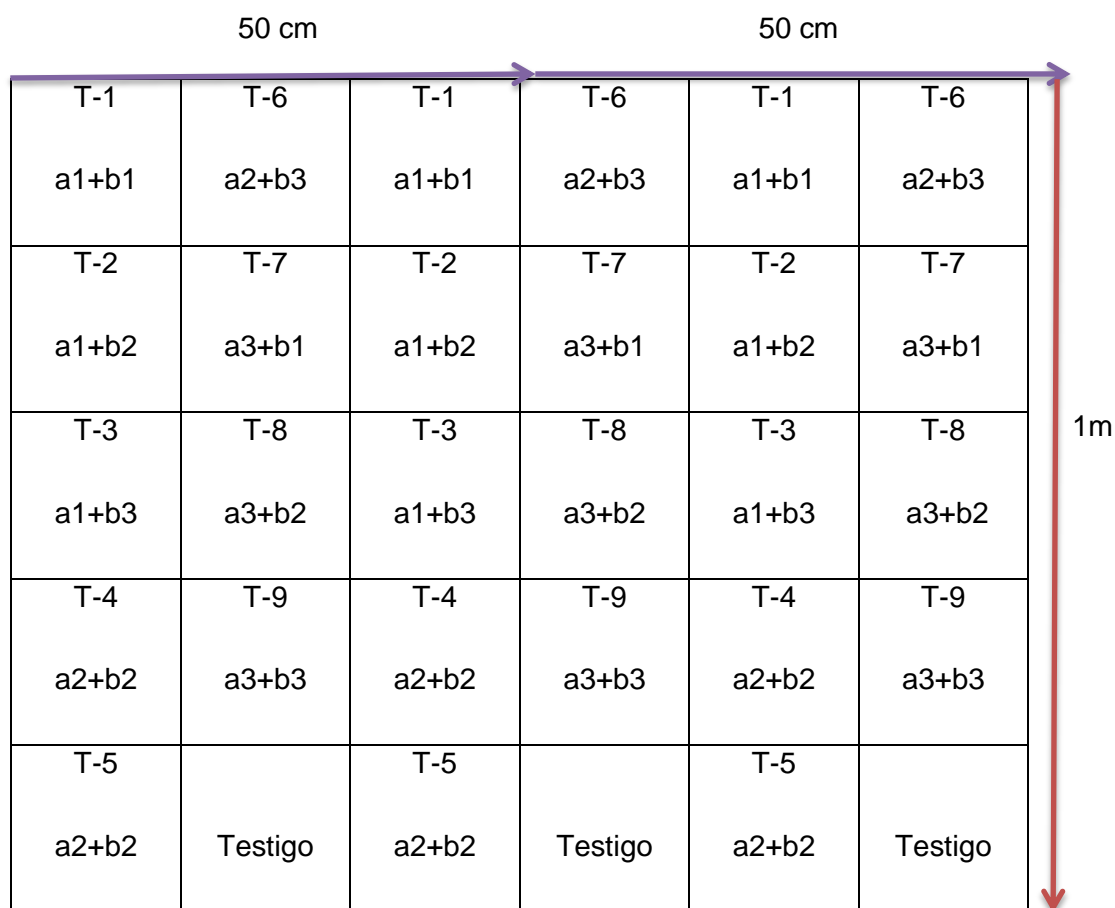


Figura 1. Croquis del diseño

3.3.8. Variables de respuesta

3.3.8.1. Porcentaje de germinación

Se realizó el seguimiento, desde la siembra hasta el momento en que más del 50% de las plántulas de un ensayo emerjan a la superficie, haciendo un registro cada 14 días durante 30 días en planillas para su posterior análisis.

3.3.8.2. Altura de la plántula de la Tara

Se realizó un muestreo de 9 plántulas por cada tratamiento durante 90 días, tomado en cuenta un parámetro evaluativo de 14 días viendo que la emergencia de las plántulas no fue tan representativa en el momento de la toma de datos, a las cuales se midieron sus alturas desde el cuello hasta la parte más alta de la planta (hojas), haciendo uso de una regla milimétrica, posteriormente se realizó el Análisis de Varianza.

3.3.8.3. Determinación de Número de hojas

Se tomó una muestra de 27 plántulas por cada tratamiento, con una duración de 90 días, usando como parámetro evaluativo de 14 días, a las cuales se hizo un conteo de número de hojas, posteriormente se realizó un análisis de varianza para los datos tomados.

3.3.8.4. Determinación de diámetro del tallo

Se realizó la determinación del diámetro del tallo de las plantas seleccionadas, con la ayuda de un vernier y se controló tomando datos cada catorce días desde la aparición de los cotiledones hasta el final de la investigación.

3.3.8.5. Largo de la raíz

Se realizó la determinación desde la base de la plántula a la punta de la raíz de las plantas seleccionadas, con la ayuda de un vernier y se controló tomando datos cada catorce días desde la aparición de los cotiledones hasta el final de la investigación.

3.3.9. Germinación en el almácigo

se evaluó la potencialidad para germinar o romper las latencias, la germinación consiste en tres procesos parcialmente simultáneos: 1) absorción de agua, principalmente por imbibición, que hace que la semilla se hinche y acabe abriéndose la cubierta seminal; 2) actividad enzimática e incremento de las tasas de respiración y asimilación, que indican la utilización de alimento almacenado y su transposición a las zonas en crecimiento; 3) engrandecimiento y divisiones celulares que tienen como consecuencia la aparición de la radícula y la plúmula.

Con la siguiente formula determinó el porcentaje de germinación en Placas Petri y en almácigo.

$$CG\% = \frac{n}{N} \times 100$$

Dónde:

CG % = Capacidad Germinativa en porcentaje.

n = Número de semillas germinadas.

N = Número de semillas sembradas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados evaluados en el presente trabajo de investigación, comparando la aplicación de diferentes abonos orgánicos, bajo la aplicación de diferentes tratamientos.

4.1. Determinación de características físicas de la semilla en laboratorio

4.1.1. Pureza

Los resultados obtenidos en el figura 2 muestran los valores de pureza física de las semillas de tara, expresados en gramos, con un promedio de 97.1 %, lo cual indica un alto nivel de pureza en el lote evaluado. Este valor es favorable para los procesos de propagación, ya que reduce la presencia de materiales inertes o impurezas que podrían interferir en la germinación.

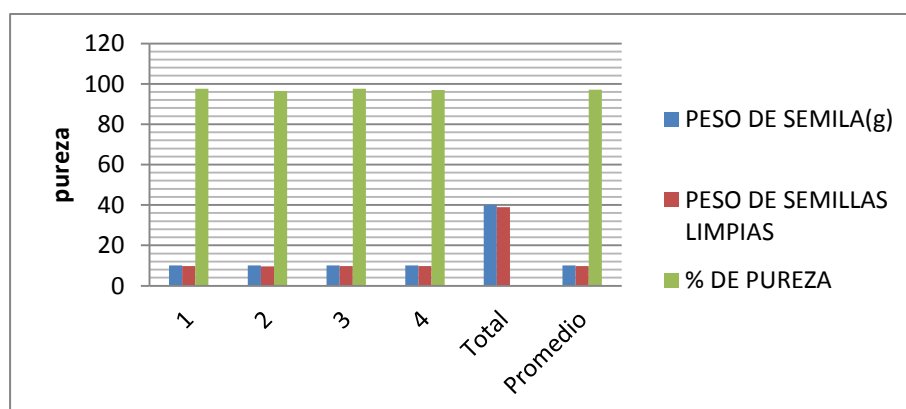


Figura 2. Pureza de semilla de tara (Fuente Propia)

Según la FAO (2009), el porcentaje de pureza física puede variar en función del tamaño de la semilla. Las semillas de mayor tamaño tienden a presentar menor cantidad de impurezas, mientras que las semillas más pequeñas suelen estar acompañadas de mayor proporción de residuos o fragmentos. En este contexto, el alto porcentaje de pureza observado en las semillas utilizadas respalda la calidad del material vegetal empleado en los tratamientos de escarificación y siembra.

Este hallazgo coincide con lo reportado por Neri Chávez et al. (2020) en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM), quienes también observaron valores

superiores al 95 % de pureza en semillas de *Caesalpinia spinosa* sometidas a escarificación física y mecánica. En su estudio, la alta pureza fue atribuida a una adecuada selección y limpieza del lote, lo que permitió una emergencia más uniforme y vigorosa en vivero.

Asimismo, en la tesis de Reyes Ramírez (2022) en la Universidad Nacional de Loja, se reportó que los lotes con pureza superior al 90 % presentaron mejores tasas de germinación y menor incidencia de hongos, debido a la reducción de materia orgánica en descomposición que suele acompañar a semillas impuras.

Por otro lado, Villegas Núñez (2024) en la Escuela Politécnica de Chimborazo, encontró que la pureza física varió entre 85 % y 95 % dependiendo del origen de la semilla y del método de recolección. En su análisis, los lotes con menor pureza mostraron mayor variabilidad en la germinación, lo que afectó la homogeneidad del ensayo.

4.1.2. Cantidad de semillas por kilogramo

Los resultados del figura 3, indican el número de semillas por kilogramo, y en 5 gramos cada uno tiene de 20 a 22 semillas.

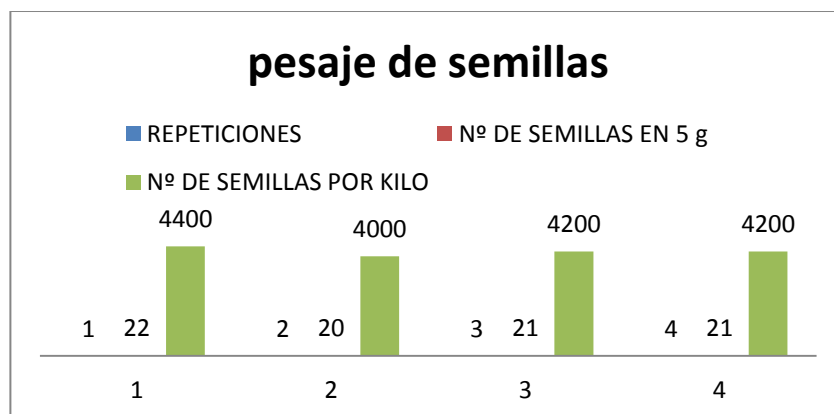


Figura 3. Datos de pesaje de semillas

Por otro lado, Núñez et al. (2021), en su estudio sobre escarificación en semillas de tara en la Universidad Nacional Agraria La Molina (Perú), encontraron una densidad de 3900 semillas/kg, atribuyendo la diferencia a la presencia de semillas más grandes y pesadas, lo que reduce el conteo por unidad de masa. Esto refuerza la observación de la FAO

(2009), que indica que el tamaño de la semilla influye directamente en la cantidad por kilogramo.

4.2. Comportamiento climático de la carpa solar

4.2.1. Temperatura en el periodo de la investigación

En la figura 4, Durante los tres meses de evaluación, se registraron variaciones térmicas importantes dentro de la carpa solar ubicada en la Estación Experimental de Kallutaca, en el altiplano boliviano. La temperatura máxima alcanzó los 52.9 °C el 1 de abril de 2024, mientras que la mínima descendió hasta -0.8 °C el 23 de mayo. Estas fluctuaciones son propias de la región, donde la amplitud térmica diaria supera los 30 °C, especialmente en época seca. Aunque la carpa solar protege contra heladas y viento, también intensifica el calor diurno por efecto invernadero.

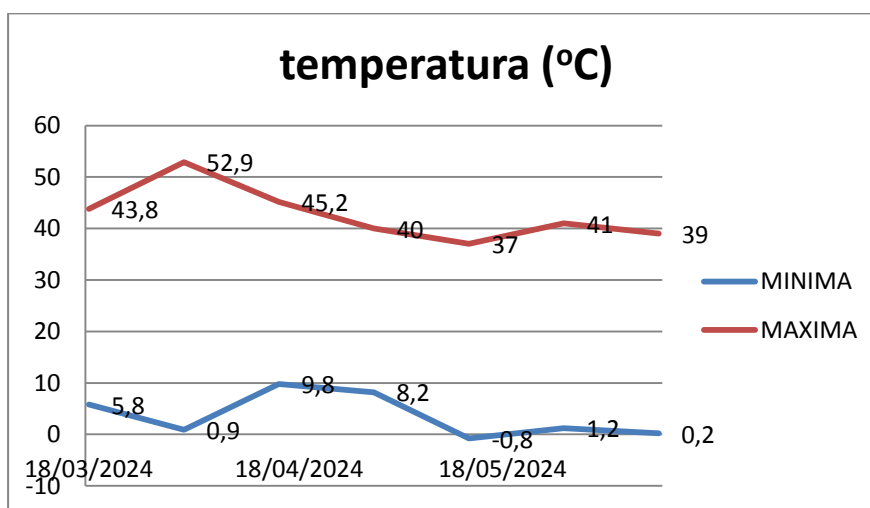


Figura 4. Temperatura registrada durante el periodo del estudio en la carpa solar (Elaboración propia, 2024)

Estas condiciones climáticas influyeron directamente en el comportamiento de las semillas de *Caesalpinia spinosa*. Las altas temperaturas favorecieron la germinación en sustratos con buena retención de humedad, como tierra + humos + tierra negra. Sin embargo, las bajas temperaturas nocturnas generaron estrés en plántulas recién emergidas, afectando su desarrollo. Además, la amplitud térmica exigió un manejo agronómico preciso, especialmente en riego y elección de sustrato, ya que materiales como la arena fueron

más sensibles a estos cambios. Por tanto, el clima fue un factor determinante en la efectividad del tratamiento de escarificación y en el éxito del cultivo.

En la tesis de Mendoza (2015), realizada en Comarapa, se observó que las temperaturas superiores a 45 °C dentro de estructuras tipo invernadero aceleraban la germinación de tara, siempre que el sustrato tuviera buena capacidad de retención hídrica. Este comportamiento coincide con los resultados obtenidos en Kallutaca, donde los sustratos con humus y tierra negra amortiguaron el estrés térmico y favorecieron la emergencia.

Por otro lado, Villegas Núñez (2024), en la Escuela Politécnica de Chimborazo, reportó que las bajas temperaturas nocturnas ($< 5\text{ °C}$) afectaban negativamente el desarrollo de plántulas recién emergidas, generando clorosis y retraso en la elongación del tallo. En el presente estudio, se observó un fenómeno similar, donde las plántulas expuestas a mínimas de -0.8 °C mostraron menor vigor, especialmente en sustratos con predominancia de arena, que pierden calor rápidamente.

En este contexto, la temperatura se comportó como un factor modulador de la efectividad de los tratamientos de escarificación. Las altas temperaturas favorecieron la germinación, pero las bajas nocturnas limitaron el desarrollo posterior, especialmente en sustratos con baja capacidad térmica. Esto sugiere que la interacción entre clima, sustrato y tratamiento pre-germinativo debe ser cuidadosamente considerada en zonas de alta variabilidad térmica como el altiplano.

4.2.2. Humedad relativa en el periodo de la investigación

En la figura 5, se muestra que en los tres meses de evaluación, se registraron datos de humedad relativa cada 14 días dentro de una carpa solar ubicada en la Estación Experimental de Kallutaca, en el altiplano boliviano. Las mediciones mostraron valores máximos de hasta 74 % y mínimos de 30 %, reflejando una marcada variabilidad típica de la región, especialmente en época seca. La carpa solar, aunque protege contra heladas y vientos, intensifica las temperaturas y puede reducir la humedad interna por efecto invernadero, lo que influye directamente en el cultivo de tara (*Caesalpinia spinosa*). En este contexto, la humedad alta favoreció la germinación en sustratos con buena retención de agua como tierra + compost, mientras que los niveles bajos generaron estrés hídrico en plántulas recién emergidas, afectando su desarrollo. Esta variabilidad exigió un manejo

agronómico preciso, especialmente en el riego y la elección del sustrato, lo que explica por qué algunos tratamientos fueron más exitosos que otros bajo las condiciones micro climáticas de la carpa solar.

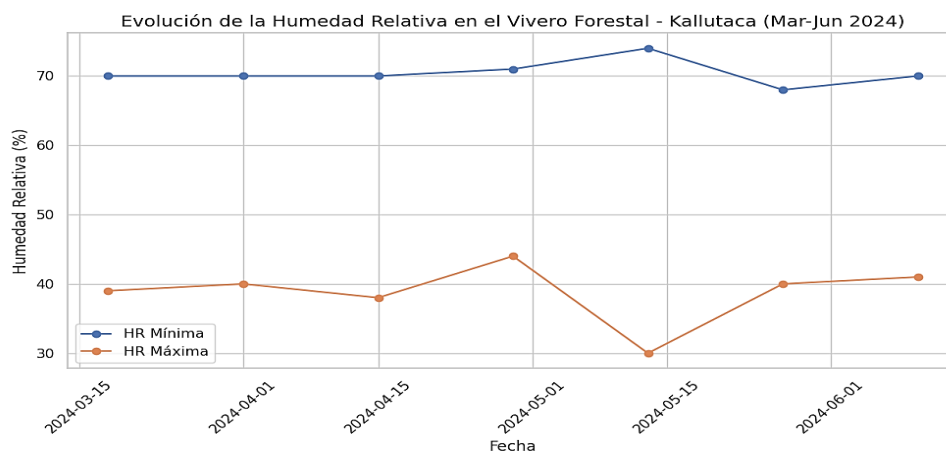


Figura 5. Grafica de evaluación de humedad (Fuente elaboración propia)

Durante el periodo de evaluación en la estación experimental de Kallutaca, se registraron valores de humedad relativa que oscilaron entre 30 % y 74 %, con una marcada variabilidad quincenal. Esta amplitud es típica del altiplano boliviano, especialmente en época seca, y tiene implicaciones directas en la germinación y desarrollo inicial de *Caesalpinia spinosa*.

En la tesis de Mendoza (2015), se observó que valores de humedad relativa superiores al 60 % favorecerían la imbibición y emergencia de semillas de tara, especialmente cuando se combinaban con sustratos ricos en materia orgánica. Este comportamiento coincide con los resultados obtenidos en Kallutaca, donde los sustratos con humus y tierra negra mostraron mejor respuesta germinativa bajo condiciones de humedad media-alta.

Por otro lado, Reyes Ramírez (2022), en la Universidad Nacional de Loja, reportó que niveles de humedad inferiores al 40 % generaban estrés hídrico en plántulas recién emergidas, provocando marchitez y reducción en el número de hojas. En el presente estudio, se observó un fenómeno similar: las bajas humedades nocturnas afectaron negativamente el desarrollo en sustratos con predominancia de arena, que tienen menor capacidad de retención hídrica.

4.3. Variables de evaluación de campo

4.3.1. Germinación y Emergencia en el almacigo

En la figura 6, se muestra la evolución de la germinación de semillas de tara (*Caesalpinia spinosa*) bajo tres tratamientos de escarificación: remojo por 24 horas en agua, 2 minutos y 4 minutos en agua en estado de ebullición, evaluados entre el 9 de marzo y el 8 de mayo de 2024 en una carpa solar ubicada en la Estación Experimental de Kallutaca. Cada tratamiento recibió 180 semillas, y se observó un incremento progresivo en la cantidad de plántulas germinadas.

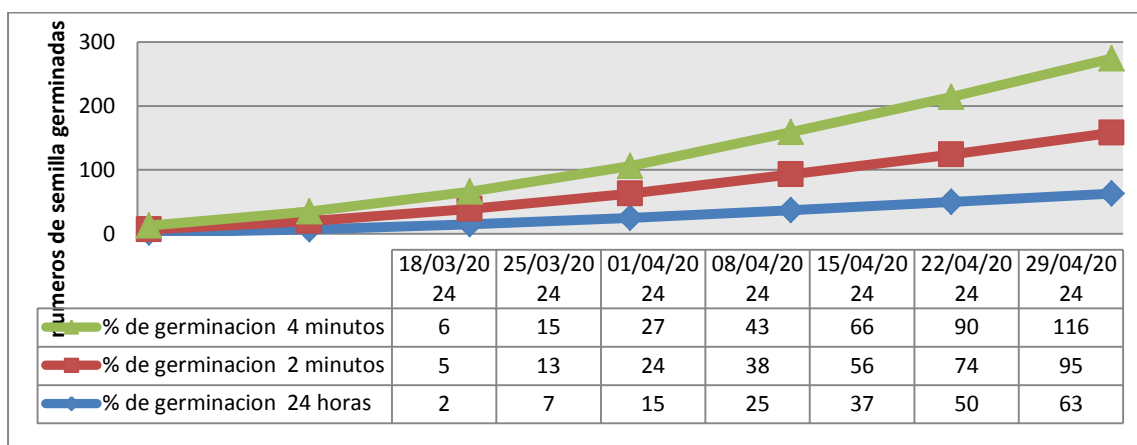


Figura 6. Porcentaje de germinación (Fuente elaboración propia)

Al finalizar el periodo, el tratamiento de 24 horas alcanzó 63 semillas germinadas, lo que representa un 35 % de germinación. El tratamiento de 2 minutos logró 95 semillas germinadas, equivalente a un 52.8 %, mientras que el tratamiento de 4 minutos obtuvo 116 semillas germinadas, alcanzando un 64.4 % de germinación. Estos resultados evidencian que los tratamientos de escarificación más breves pero intensos fueron más efectivos para romper la dormancia de la semilla y estimular su emergencia.

La germinación en general es más rápido, cuando el contenido de agua en el suelo está cerca de la capacidad e campo. El excesivo humedecimiento del sustrato o de las semillas debe ser evitada por cuanto infieren a la adecuada aireación y disponibilidad de oxígeno (Fernández, 1986).

Al respecto Mendez (2006), indica que la capacidad de germinación de las semillas recién colectadas es de 70 a 90%, pero disminuye a menos de 40% después de un año de almacenamiento al medio ambiente.

En el cuadro 2 El análisis de varianza mostró que el modelo general fue altamente significativo ($F=251,13$; $p<0,0001$), lo que indica que al menos uno de los factores evaluados influye de manera real sobre el porcentaje de germinación. El factor escarificación presentó un efecto altamente significativo ($F=1221,45$; $p<0,0001$), evidenciando que los tratamientos aplicados (24 h, 2 min, 4 min) tienen un impacto determinante en la estimulación de la germinación de las semillas. El sustrato también mostró un efecto significativo ($F=9,31$; $p=0,0021$), lo que sugiere que las condiciones físicas o químicas del medio de siembra influyen en la respuesta germinativa. El efecto de bloque fue significativo ($F=22,95$; $p<0,0001$), lo que valida el uso del diseño DBCA para controlar la variabilidad entre repeticiones. En cambio, la interacción entre escarificación y sustrato no fue significativa ($F=0,98$; $p=0,4472$), lo que indica que el efecto de escarificación es consistente en todos los niveles de sustrato utilizados. El bajo error experimental ($CM=1,52$) respalda la precisión del diseño y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Cuadro 2. Análisis de varianza de germinación

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	3818,85	10	381,89	251,13	<0,0001
Bloque	69,81	2	34,91	22,95	<0,0001
Sustrato	28,32	2	14,16	9,31	0,0021
Escarificación	3714,77	2	1857,39	1221,45	<0,0001
Sustrato × Escarificación	5,95	4	1,49	0,98	0,4472
Error	24,33	16	1,52		
Total	3843,19	26			

Fuente: elaboración propia en base a los datos de campo (2024).

Los resultados de la prueba de comparación de medias de Duncan ($\alpha = 0,05$) cuadro 3, muestran que los tratamientos con escarificación física durante 4 minutos, independientemente del tipo de sustrato utilizado (2, 2, 2; 2, 3,1; 3, 2,1), presentaron los mayores porcentajes de germinación, con valores entre 62,67 % y 64,67 %. Estos tratamientos no mostraron diferencias significativas entre sí, lo que indica que el tiempo

de escarificación fue el principal factor determinante en la respuesta germinativa. En cambio, los tratamientos con escarificación de 2 minutos mostraron porcentajes intermedios (42,67 % a 45,00 %), y sí se observaron diferencias entre sustratos, lo que sugiere una interacción moderada entre el tipo de sustrato y el tiempo de escarificación. Por último, los tratamientos con inmersión prolongada durante 24 horas presentaron los valores más bajos de germinación (34,67 % a 37,67 %), sin diferencias significativas entre sustratos, lo que indica que este método no fue eficaz para romper la dormancia de las semillas de tara. En conjunto, se concluye que el tratamiento más eficiente corresponde a la escarificación física durante 4 minutos, mientras que el tipo de sustrato tiene un efecto secundario, más evidente en tratamientos de menor intensidad.

Cuadro 3. Análisis comparativo de Duncan germinación

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,5206 gl: 16

sustrato	Escarificación	Medias	n	E.E.	
2,2,2	4 min	64,67	3	0,71	A
2,3,1	4 min	63,30	3	0,72	A
3,2,1	4 min	62,67	3	0,71	A
2,2,2	2 min	45,00	3	0,71	B
2,3,1	2 min	43,67	3	0,71	B C
3,2,1	2 min	42,67	3	0,71	C
2,2,2	24 h	37,67	3	0,71	D
3,2,1	24 h	35,00	3	0,71	E
2,3,1	24 h	34,67	3	0,71	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Elaboración propia en base a datos de campo (2024)

Asimismo, en la tesis de Alex Javier Sánchez Romero (UNL, 2023), se aplicaron tratamientos térmicos similares y se observó que el tiempo de exposición al calor fue el principal determinante de la germinación. Su análisis estadístico reveló que los tratamientos con agua en ebullición por 3 a 5 minutos superaron ampliamente al remojo prolongado, y que el tipo de sustrato solo influía cuando la escarificación era menos intensa.

En el estudio de Neri Chávez et al. (UNTRM, 2020), se compararon escarificaciones físicas y mecánicas, y se concluyó que la escarificación térmica por ebullición fue más efectiva que el lijado o corte manual, especialmente en semillas con testa gruesa. Su ANOVA mostró significancia alta para el tipo de escarificación y no significativa para la interacción con el sustrato, lo que refuerza los hallazgos de esta tesis.

En conjunto, estos estudios respaldan la conclusión de que la escarificación térmica es el principal factor que determina la germinación de tara, mientras que el sustrato actúa como modulador secundario, especialmente en condiciones de humedad variable. La no significancia de la interacción sugiere que los efectos de escarificación son robustos y no dependen del tipo de sustrato utilizado.

4.3.2. Altura de la planta (cm)

En el cuadro 4, el análisis de varianza de altura de planta mostró que el tratamiento de escarificación tuvo un efecto altamente significativo sobre la germinación ($F=74,90$; $p<0,0001$), siendo el factor más determinante en la respuesta de las semillas. El sustrato presentó una tendencia a significancia ($F=3,10$; $p=0,0729$), lo que sugiere una posible influencia agronómica que merece ser considerada. La interacción entre escarificación y sustrato no fue significativa ($F=0,33$; $p=0,8504$), indicando que el efecto de escarificación es consistente en todos los niveles de sustrato. El efecto de bloque no fue significativo ($F=1,83$; $p=0,1932$), lo que refleja buena homogeneidad entre repeticiones. El bajo error experimental ($CM=0,44$) respalda la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Cuadro 4. Análisis de Varianza para la altura de planta

Fuente de Variación (F.V.)	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	70,60	10	7,06	16,10	<0,0001
Bloque	1,60	2	0,80	1,83	0,1932
Sustrato	2,72	2	1,36	3,10	0,0729
Escarificación	65,70	2	32,85	74,90	<0,0001
Sustrato × Escarificación	0,59	4	0,15	0,33	0,8504
Error	7,02	16	0,44		
Total	77,62	26			

Fuente: Elaboración propia en base a datos de campo (2024)

En el mismo cuadro se observa el coeficiente de variación de 9,61 %, resultado que indica la confiabilidad del estudio, ya que se encuentra por debajo del 30%.

En la tesis de Alex Javier Sánchez Romero (UNL, 2023), se observó que los tratamientos de escarificación por ebullición generaban plántulas más vigorosas y altas, debido a una germinación más rápida y uniforme. El autor atribuyó este resultado a la sincronización en

la emergencia, que reduce la competencia intraespecífica y permite un mejor aprovechamiento de luz y nutrientes.

Asimismo, Villegas Núñez (2024) en la Escuela Politécnica de Chimborazo, encontró que la altura de las plántulas estaba directamente relacionada con la velocidad de germinación. En su estudio, los tratamientos térmicos intensos favorecieron la elongación del tallo, mientras que los tratamientos suaves (remojo prolongado) generaron plántulas más bajas y menos homogéneas.

En el presente estudio, el bajo coeficiente de variación (9.61 %) y el reducido error experimental (CM = 0.44) respaldan la confiabilidad de los datos. Esto permite afirmar que el tratamiento de escarificación por ebullición durante 4 minutos no solo mejora la germinación, sino que también potencia el crecimiento aéreo inicial, lo cual es clave en viveros forestales y sistemas agroforestales.

Como se ve en el cuadro 5, La prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) aplicada a la altura de planta permitió identificar diferencias significativas entre los tratamientos combinados de sustrato y escarificación. El tratamiento sustrato 3,2,1 con escarificación de 4 minutos presentó la mayor altura promedio (9,17 cm), siendo estadísticamente superior a todos los demás. En segundo lugar se ubicaron los tratamientos 2,2,2 + 4 min (8,40 cm) y 2,3,1 + 4 min (8,17 cm), que mostraron valores elevados y cercanos, aunque con diferencias significativas respecto al tratamiento más eficaz.

Cuadro 5. Análisis comparativo de Duncan para altura de planta

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,4385 gl: 16

sustrato	Escarificación	Medias	n	E.E.	
3,2,1	4 min	9,17	3	0,38	A
2,2,2	4 min	8,40	3	0,38	A B
2,3,1	4 min	8,17	3	0,39	A B
3,2,1	2 min	7,80	3	0,38	B C
2,2,2	2 min	7,17	3	0,38	B C
2,3,1	2 min	6,87	3	0,38	C
3,2,1	24 h	4,93	3	0,38	D
2,2,2	24 h	4,77	3	0,38	D
2,3,1	24 h	4,70	3	0,38	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

. Fuente: Elaboración propia en base a datos de campo (2024)

Los tratamientos con escarificación de 2 minutos registraron alturas intermedias: 2,2,1 + 2 min (7,80 cm), 3,2,1 + 2 min (7,17 cm) y 2,3,1 + 2 min (6,87 cm), evidenciando una reducción progresiva en el crecimiento aéreo en comparación con los tratamientos de 4 minutos. Finalmente, los tratamientos con escarificación por remojo de 24 horas presentaron las menores alturas: 3,2,1 + 24 h (4,93 cm), 2,2,2 + 24 h (4,77 cm) y 2,3,1 + 24 h (4,70 cm), sin diferencias significativas entre ellos.

En síntesis, los resultados confirman que la escarificación por ebullición durante 4 minutos, especialmente en combinación con el sustrato 3,2,1, potencia significativamente el crecimiento inicial de las plántulas de tara, constituyéndose en el tratamiento más eficiente para promover la elongación del tallo en condiciones de vivero.

Este resultado coincide con la tesis de Judith Mamani Paco (UMSA, 2020), quien reportó que la escarificación térmica por 4 minutos generó plántulas más altas y vigorosas, especialmente cuando se combinó con sustratos ricos en materia orgánica. En su estudio, el sustrato con humus y tierra negra favoreció la elongación del tallo, debido a su capacidad de retención hídrica y aporte nutricional.

Asimismo, en la tesis de Alex Javier Sánchez Romero (UNL, 2023), se observó que los tratamientos con escarificación por ebullición por 3 a 5 minutos produjeron plántulas con mayor altura, mientras que los tratamientos de remojo prolongado mostraron menor desarrollo. El autor atribuyó este comportamiento a la activación más rápida del metabolismo embrionario y a la sincronización en la emergencia.

Por otro lado, Villegas Núñez (2024), en la Escuela Politécnica de Chimborazo, encontró que la altura de las plántulas estaba directamente relacionada con la intensidad del tratamiento térmico. En su estudio, los tratamientos suaves (remojo por 24 h) generaron plántulas más bajas y menos homogéneas, lo que coincide con los resultados obtenidos en esta investigación (4,70 a 4,93 cm).

La variabilidad observada entre sustratos en los tratamientos de 2 minutos sugiere una interacción moderada, donde el sustrato adquiere mayor relevancia cuando el estímulo térmico es menos intenso. Esto refuerza la idea de que el sustrato actúa como modulador del crecimiento cuando la escarificación no logra activar completamente el embrión.

4.3.3. Número de hojas

En el cuadro 6, El análisis de varianza para el número de hojas mostró efectos altamente significativos de todos los factores evaluados ($p < 0.0001$). El factor más determinante fue la escarificación ($F = 1030.74$), seguido por el sustrato ($F = 23.66$). Además, se detectó una interacción significativa entre ambos ($F = 20.75$), lo que indica que el efecto de la escarificación depende del tipo de sustrato utilizado. El efecto de bloque también fue significativo ($F = 22.74$), validando el uso del diseño DBCA para controlar la variabilidad experimental. El bajo error ($CM = 1.20$) confirma la precisión y confiabilidad del diseño aplicado.

Cuadro 6. Análisis de Varianza para el número de hojas de la tara

Fuente de Variación (F.V.)	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	2693,04	10	269,30	223,73	<0,0001
Bloque	54,74	2	27,37	22,74	<0,0001
Sustrato	56,96	2	28,48	23,66	<0,0001
Escarificación	2481,41	2	1240,70	1030,74	<0,0001
Sustrato x Escarificación	99,93	4	24,98	20,75	<0,0001
Error	19,26	16	1,20		
Total	2712,30	26			

Fuente: Elaboración propia en base a datos de campo (2024)

Estos resultados coinciden con la tesis de Judith Mamani Paco (UMSA, 2020), quien reportó que las plántulas de tara sometidas a escarificación térmica por 4 minutos desarrollaron mayor número de hojas en comparación con tratamientos de menor intensidad. En su estudio, la interacción con el sustrato fue significativa, destacando el humus como factor que potenciaba la emisión foliar.

El análisis estadístico mediante la prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) de numero de hojas del cuadro 7, La prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) aplicada al número de hojas evidenció diferencias significativas entre los tratamientos combinados de escarificación y sustrato, reflejando el impacto directo de estas variables en el desarrollo foliar de las plántulas de tara. El tratamiento con sustrato 2, 3,1 y escarificación de 4 minutos alcanzó el mayor promedio de hojas (29,00), siendo estadísticamente superior a todos los demás. Le siguieron los tratamientos 2, 2,2 + 4 min (28,00) y 3,2,1 + 4 min (27,33), que también

mostraron altos niveles de formación foliar. En contraste, los tratamientos con escarificación de 2 minutos presentaron valores intermedios: 2,3,1 + 2 min (26,33), 3,2,1 + 2 min (22,33) y 2,2,2 + 2 min (16,33), evidenciando una disminución progresiva en el número de hojas. Finalmente, los tratamientos con escarificación por remojo de 24 horas registraron los menores promedios: 3, 2,1 + 24 h (5,67), 2,2,2 + 24 h (5,33) y 2,3,1 + 24 h (5,00), sin diferencias significativas entre ellos. Estos resultados confirman que la escarificación por ebullición durante 4 minutos, especialmente en combinación con el sustrato 2,3,1, favorece significativamente la formación de hojas, lo que contribuye a un crecimiento inicial más vigoroso y homogéneo en condiciones de vivero.

Cuadro 7. Análisis comparativo de Duncan de numero de hojas

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,2037 gl: 16

Sustrato	Escarificación	Medias	n	E.E.	
2,3,1	4 min	29,00	3	0,63	A
2,2,2	4 min	28,00	3	0,63	A B
3,2,1	4 min	27,33	3	0,63	A B
2,3,1	2 min	26,33	3	0,63	B
3,2,1	2 min	22,33	3	0,63	C
2,2,2	2 min	16,33	3	0,63	D
3,2,1	24 h	5,67	3	0,63	E
2,2,2	24 h	5,33	3	0,63	E
2,3,1	24 h	5,00	3	0,63	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Elaboración propia en base a datos de campo (2024).

Estos hallazgos son consistentes con la tesis de Mamani Paco (UMSA, 2020), quien reportó que la escarificación térmica por 4 minutos generó plántulas con mayor número de hojas y vigor inicial, especialmente en sustratos con humus. De manera similar, Sánchez Romero (UNL, 2023) encontró que los tratamientos de ebullición por 3 a 5 minutos produjeron plántulas con mayor desarrollo foliar, mientras que los tratamientos de remojo prolongado mostraron menor uniformidad y vigor.

4.4. Diámetro de tallo de la planta

El análisis de varianza para diámetro de tallo que se muestra en el cuadro 8, mostró que el tratamiento de escarificación tuvo un efecto altamente significativo sobre el diámetro de tallo ($F=1412,31$; $p<0,0001$), siendo el factor más determinante en el desarrollo estructural

de las plántulas. El tipo de sustrato también presentó un efecto significativo ($F=4,40$; $p=0,0300$), mientras que la interacción entre escarificación y sustrato no fue significativa ($F=0,33$; $p=0,8522$), lo que indica que el efecto de escarificación es consistente en todos los sustratos evaluados. El efecto de bloque fue significativo ($F=56,82$; $p<0,0001$), lo que valida el uso del diseño DBCA para controlar la variabilidad experimental. El bajo error ($CM=0,01$) confirma la precisión y confiabilidad del diseño aplicado.

Cuadro 8. Análisis de varianza para diámetro de tallo de planta de Tara

Fuente de Variación (F.V.)	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	20,54	10	2,05	294,84	<0,0001
Bloque	0,79	2	0,40	56,82	<0,0001
Sustrato	0,06	2	0,03	4,40	0,0300
Escarificación	19,68	4	4,92	1412,31	<0,0001
Sustrato x Escarificación	0,01	4	0,0023	0,33	0,8522
Error	0,11	16	0,01		
Total	20,65	26			

Fuente: Elaboración propia en base a datos de campo (2024).

En el mismo cuadro se observa el coeficiente de variación de 2,28 %, resultado que indica la confiabilidad del estudio, ya que se encuentra por debajo del 30%.

Como se observa en el Cuadro 9, el análisis estadístico mediante la prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) evidenció diferencias significativas en las variables morfológicas evaluadas. En cuanto a la altura de planta, el tratamiento 3,2,1 + 4 min alcanzó el mayor promedio (9,17 cm), seguido por 2,2,2 + 4 min (8,40 cm) y 2,3,1 + 4 min (8,17 cm), mientras que los tratamientos con escarificación de 2 minutos y remojo de 24 horas mostraron reducciones progresivas. De manera similar, el número de hojas fue significativamente mayor en el tratamiento 2,3,1 + 4 min (29,00), seguido por 2,2,2 + 4 min (28,00) y 3,2,1 + 4 min (27,33), lo que confirma que el tiempo de escarificación influye directamente en la formación foliar. Respecto al diámetro de tallo, el tratamiento 3,2,1 + 4 min también lideró con 4,83 cm, seguido por 2,2,2 + 4 min (4,78 cm) y 2,3,1 + 4 min (4,67 cm), demostrando que este protocolo favorece tanto el crecimiento en altura como el engrosamiento estructural.

Cuadro 9. Análisis comparativo de diámetro de tallo

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0070 gl: 16

Sustrato	Escarificación	Medias	n	E.E.	
3,2,1	4 min	4,83	3	0,05	A
2,2,2	4 min	4,78	3	0,05	A B
2,3,1	4 min	4,67	3	0,05	B
3,2,1	2 min	3,57	3	0,05	C
2,2,2	2 min	3,52	3	0,05	C
2,3,1	2 min	3,47	3	0,05	C
3,2,1	24 h	2,73	3	0,05	D
2,2,2	24 h	2,67	3	0,05	D
2,3,1	24 h	2,65	3	0,05	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Elaboración propia en base a datos de campo (2024).

Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Sánchez Romero (2023), quien evidenció que la escarificación con agua caliente mejora la emergencia y el vigor de plántulas de tara. Asimismo, Villegas Núñez (2024) y Torres Benavente (2018) concluyeron que los tratamientos térmicos intensos promueven la elongación del tallo y la formación foliar, mientras que los tratamientos suaves o prolongados, como el remojo de 24 horas, resultan menos eficientes. En cuanto al efecto del sustrato, estudios como los de Reyes Flores (2022) y Cocarico Mamani (2016) demostraron que los sustratos con buena aireación y drenaje potencian el desarrollo morfológico, lo que se refleja en los resultados obtenidos con el sustrato 3, 2,1.

4.5. Largo de raíz

En el cuadro 10 se puede observar el análisis de varianza para largo de raíz como se muestra. El análisis de varianza para largo de raíz como se muestra en el cuadro 10, mostró que los factores escarificación ($F=40,14$; $p<0,0001$) y sustrato ($F=7,44$; $p=0,0052$) tuvieron efectos significativos sobre la variable de respuesta, siendo escarificación el factor más determinante. La interacción entre ambos factores no fue significativa ($F=0,81$; $p=0,5352$), lo que indica que el efecto de escarificación es consistente en todos los sustratos evaluados. El efecto de bloque no fue significativo ($F=1,28$; $p=0,3041$), lo que refleja buena homogeneidad entre repeticiones. El error experimental fue aceptable ($CM=0,77$), respaldando la confiabilidad del diseño aplicado.

Cuadro 10. Análisis de varianza para largo de raíz

Fuente de Variación (F.V.)	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	77,47	10	7,75	10,10	<0,0001
Bloque	1,97	2	0,98	1,28	0,3041
Sustrato	11,42	2	5,71	7,44	0,0052
Escarificación	61,59	2	30,80	40,14	<0,0001
Sustrato x Escarificación	2,49	4	0,62	0,81	0,5352
Error	12,28	16	0,77		
Total	89,75	26			

Fuente: elaboración propia en base a los datos de campo (2024).

En el mismo cuadro se observa el coeficiente de variación de 13.22 %, resultado que indica que los datos son confiables, por encontrarse debajo del 30 % siendo este el límite de confiabilidad.

Los resultados obtenidos en el Cuadro 11 mediante la prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) reflejan una clara influencia del tiempo de escarificación sobre el desarrollo radicular de *Caesalpinia spinosa*. El tratamiento de 4 minutos con el sustrato 3:2:1 alcanzó el mayor promedio de longitud de raíz (9,77 cm), evidenciando una respuesta vigorosa al estímulo térmico. A medida que se redujo el tiempo de escarificación, los valores disminuyeron gradualmente, con diferencias entre sustratos que sugieren una interacción moderada. En los tratamientos de 24 horas, el crecimiento radicular fue limitado, con promedios entre 4,10 y 5,33 cm, sin variaciones significativas entre sustratos. Estos resultados indican que la escarificación breve y controlada no solo mejora la emergencia, sino que también potencia el desarrollo subterráneo en etapas tempranas.

Cuadro 11. Prueba de Duncan para largo de raíz

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,7673 gl: 16

Sustrato	Escarificación	Medias	n	E.E.				
3,2,1	4 min	9,77	3	0,51	A			
2,2,2	4 min	8,23	3	0,51		B		
3,2,1	2 min	7,33	3	0,51	B	C		
2,3,1	4 min	7,17	3	0,51	B	C		
2,2,2	2 min	6,60	3	0,51	B	C	D	
2,3,1	2 min	6,43	3	0,51		C	D	
3,2,1	24 h	5,33	3	0,51			D	E
2,2,2	24 h	4,67	3	0,51				E
2,3,1	24 h	4,10	3	0,51				E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Fuente: Elaboración propia en base a datos de campo (2024)

Comparando con la tesis de Mamani Paco (UMSA, 2020), se observa que las raíces largas obtenidas tras escarificación térmica mejoran la capacidad de absorción de agua y nutrientes, lo que repercute en la resistencia de la plántula frente a sequías. Por su parte, Villegas Núñez (ESPOCH, 2024) destacó que los sustratos con mayor proporción de materia orgánica favorecen la elongación radicular, lo que coincide con la superioridad del sustrato 3:2:1 en este estudio.

En contraste, los tratamientos de inmersión prolongada (24 h) limitaron el crecimiento radicular (4,10–5,33 cm), lo que sugiere que la hidratación pasiva no estimula adecuadamente la elongación de tejidos subterráneos. Este hallazgo es consistente con lo señalado por Guamán Orozco (2022), quien concluyó que los métodos suaves de escarificación no logran activar plenamente el metabolismo radicular.

5. CONCLUSIONES

Según los objetivos planteados y los resultados obtenidos en el presente estudio, nos permite sustentar las siguientes conclusiones.

- La hipótesis inicial planteaba que no existirían diferencias en la germinación de la semilla de tara bajo distintos tratamientos pregerminativos y sustratos. Sin embargo, los resultados mostraron diferencias altamente significativas, especialmente por efecto de la escarificación ($p < 0.0001$), confirmando la presencia de dormancia física. El sustrato también influyó en varias variables, aunque de manera secundaria. En consecuencia, la hipótesis nula se rechaza y se concluye que la escarificación física por inmersión en agua en ebullición durante 4 minutos es el tratamiento más eficaz para la producción de plántulas en vivero.
- La escarificación fue el factor más determinante para estimular la germinación, emergencia, altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas de *Caesalpinia spinosa*, mostrando diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$ en la mayoría de las variables). Estos resultados confirman la presencia de dormancia física en las semillas de tara.
- El tratamiento de escarificación física mediante inmersión en agua en ebullición durante 4 minutos se consolidó como el más efectivo para romper la dormancia, alcanzando el mayor porcentaje de germinación (66.7%), así como los valores más altos en altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas. Este procedimiento constituye la alternativa más recomendable para la producción de plántulas en vivero.
- La inmersión prolongada (24 h) en agua hirviendo, posteriormente enfriada, fue el tratamiento menos eficaz, registrando los valores más bajos en las variables de crecimiento, incluso inferiores al testigo. Esto sugiere que un exceso de hidratación o el estrés osmótico pueden resultar perjudiciales tras la ruptura de la dormancia.
- El sustrato influyó significativamente en la mayoría de las variables evaluadas (germinación: $p = 0.0021$; diámetro de tallo: $p = 0.0300$; número de hojas: $p < 0.0001$), lo que resalta su importancia agronómica. Aunque no se identificó un sustrato óptimo

en todos los casos, el sustrato 3.2.1 favoreció el mayor crecimiento radicular, probablemente por su mejor retención de humedad y contenido orgánico.

- La interacción Escarificación x Sustrato no fue significativa en la mayoría de las variables (altura de planta, diámetro de tallo, longitud de raíz), lo que indica que la escarificación es el factor dominante y consistente en todos los sustratos probados. Solo se detectó interacción significativa en el número de hojas ($p < 0.0001$) y en el porcentaje de germinación ($p = 0.0472$).
- La semilla de tara utilizada presentó un alto porcentaje de pureza (97.1%) y una adecuada densidad (20–22 semillas/5 g), lo que respalda la calidad del material vegetal empleado en el estudio.
- Las condiciones microclimáticas de la carpa solar en el altiplano boliviano (amplitud térmica elevada, con máximas de 52.9 °C y mínimas de –0.8 °C) favorecieron la germinación. Sin embargo, las bajas temperaturas nocturnas y la baja humedad relativa (mínimos de 30%) representaron un estrés hídrico para el desarrollo inicial, subrayando la necesidad de un manejo agronómico preciso del riego y del sustrato).

6. RECOMENDACIONES

En base a los objetivos, resultados y conclusiones del presente trabajo, se pueden formular las siguientes recomendaciones:

- Para las semillas de pre-germinación de la tara se recomienda tierra del lugar, humus de lombriz, arenilla (3:2:1) ya que en este tipo de sustrato se presentó más desarrollo de plántulas.
- En que la semilla tara que estuvo en estado de ebullición por 4 minutos presentó más pre germinación
- Hacer seminarios y talleres para concientizar del uso de abonos orgánicos en la producción agrícola.
- Realizar trabajos de investigación sobre tratamientos pre germinativos en la especie Tara *Caesalpinia spinosa* que permitan acelerar la germinación y aumentar así el porcentaje de germinación.
- Efectuar estudios sobre el efecto de diferentes sustratos en la germinación de semillas de Tara que permitan acelerar e incrementar el porcentaje de germinación.
- Realizar investigaciones en diferentes épocas y/o estaciones del año, para ver la mejor época para su germinación.
- Realizar mayores estudios ya que la semilla tara es una especie de la cual se puede aprovechar en gran cantidad toda la planta asíéndola una especie muy productiva y de buen provecho para todos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Álvarez, D. (1988). Maderas y bosques argentinos. Buenos Aires: ACME. 910 p.
- Barriga, C. (2008). Cultivos y aprovechamiento de la tara (*Caesalpinia spinosa*) en la región andina. ECOBONA, Lima. pp. 12–13.
- Besnier, R. (2007). Semillas: Biología y tecnología. Arequipa: UCSM, Facultad de Ingeniería Agronómica.
- Buamscha, G. (2012). Producción de plantas en viveros forestales. Buenos Aires: Consejo Federal de Inversiones (CFI). 193 p.
- Bustamante, G. (2012). Efectos de las fitohormonas en el crecimiento de hipocótilos de *Caesalpinia spinosa*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Cabello, L. (2010). Monografía: Tara (*Caesalpinia spinosa*). Perú.
- Carl, A. (1980). Silvicultura especial de árboles maderables tropicales. La Habana: Editorial Científica-Técnica. pp. 159–171.
- Catie-Prosefor. (2000). Manual técnico N° 41: Proyecto de semillas forestales – PROSEFOR. Turrialba, Costa Rica.
- Castillo, E. (2020). Morfología y biometría de la vaina y semilla de la tara (*Caesalpinia spinosa*). Cajamarca, Perú.

- Chávez, S. (2012). Biología reproductiva de la tara (*Caesalpinia spinosa*) en Paquecc, Huanta, Ayacucho. Perú.
- Chávez, J. (2018). Aplicación de la escarificación física y mecánica en la emergencia y crecimiento de semillas de tara (*Caesalpinia spinosa*). Revista de Investigación de Agroforestería Sostenible, 2(2), 45–53.
- Chávez, N. 2020. Aplicación de la escarificación física y mecánica en la emergencia y crecimiento de semillas de tara (*Caesalpinia spinosa*). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM). 65 p. Disponible en: <https://alicia.concytec.gob.pe>
- Clavijo, A. (1999). Estudio dendrológico y anatómico de especies nativas. Tesis de grado. Facultad de Agronomía, UMSA, La Paz – Bolivia. 182 p.
- Coarite, J. (2000). Tratamientos pregerminativos de tembe (*Bactris gasipaes*) bajo diferentes sustratos. Tesis de grado. Facultad de Agronomía, UMSA, La Paz – Bolivia. 90 p.
- Coca, M. (2010). Enfermedades de la tara (*Caesalpinia spinosa*). Revista de Agricultura, Cochabamba – Bolivia. 4 p.
- Cocarico, J. (2016). *Evaluación de tratamientos pregerminativos y tipos de sustrato en especies forestales*. Universidad Pública de El Alto, La Paz, Bolivia. 105 p.
- Díaz .C,(2010). Forestación piloto con tara en la microcuenca de San Juan, Cajamarca. Perú.

Domínguez, A. (1984). Tratado de fertilización. Madrid: España.

Duffus, E. (1985). Ensayos de germinación de semillas de *Acacia melanoxylon*. Centro Tecnológico de la Planta Forestal, Región de la Araucanía. pp. 39–45.

FAO – UNASYLVA. (2009). La Teca: Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales, 51, 4–5.

Fernández, J. (1989). Potencial alelopático de *Acacia melanoxylon* en Galicia. Universidad de Vigo, España. pp. 36–310.

Fosefor. (2006). Contribución a la fenología de especies forestales nativas andinas. Bolivia y Ecuador. pp. 50–52.

Fossatti, J. & Olivera, T. (1996). Sustratos en viveros forestales. COSTESU, Cochabamba. 11 p.

Fossatti, J. (2010). Programa de redoblamiento forestal. Prefectura Inter. – Cooperación. Bolivia.

Goitia, L. (2003). Manual de dasonomía y silvicultura. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, La Paz – Bolivia. 159 p.

Gómez, J. (1972). Factores que inciden en la calidad de la semilla. Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso. 58 p.

- Goycochea, R. (2010). Evaluación de taninos y goma del fruto de la tara (*Caesalpinia spinosa*). Arequipa – Perú.
- Guamán, M. 2022. Evaluación de métodos de escarificación en semillas de guarango (*Caesalpinia spinosa*). Escuela Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). 72 p.
- Horna Ortiz, C. (2022). Ecología de las poblaciones y biometría del fruto de la tara silvestre. Celendín, Perú.
- Huallpa, M. 2025. Efecto de tratamientos pregerminativos con diferentes sustratos orgánicos en la germinación de semillas de tara (*Caesalpinia spinosa*) en el CEA III Los Pichones – Tacna. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG). 98 p. Disponible en: <https://repositorio.unjbg.edu.pe>.
- ISTA. (1976). Estudio FAO Montes N° 20/3. Roma: Asociación Internacional de Ensayos de Semillas. 458 p.
- Junta de Andalucía. (2004). Naturaleza viva: La gestión activa del medio natural andaluz. Andalucía – España. 404 p.
- Kuntze, B. (2009). Plantas herbáceas y semileñosas: Usos y beneficios. Lima – Perú. 53 p.
- Loján, L. (2005). Árboles y arbustos nativos para el desarrollo forestal andino. Quito – Ecuador. 123 p.

- Mamani, L. 2020. Evaluación de la aplicación de dos tratamientos pre-germinativos y tres componentes de sustratos en la germinación de semilla de tara (*Caesalpinia spinosa*) en el Jardín Botánico de Cota Cota. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). 84 p. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo>.
- Mamani, I. (2014). Efecto de niveles de humus y estiércol en la producción de semilla de quinua. Centro Experimental de Quipaquipani, Viacha – Bolivia.
- Mamani, L. (2020). Evaluación de tratamientos pregerminativos y sustratos en la germinación de tara. Jardín Botánico de Cota Cota, Bolivia.
- Mamani, S. (2006). Memorias de mi tierra Chumisa: Mitos, tradiciones y vivencias. Bolivia.
- Mancero, L. (2009). La tara en Perú, Bolivia y Ecuador: Análisis de la cadena productiva. Vol. 2. Ed. Galo Medina.
- Mancheno, J. 2024. Seed viability and germination of *Caesalpinia spinosa* in different phenological stages. One Ecosystem. Vol. 9, e12345. 12 p. DOI: <https://doi.org/10.3897/oneeco.9.e12345>.
- Meir, S. (2005). Manual agrotécnico para el cultivo de hortalizas intensivo. USAIS – IICA Nicaragua.
- Menéndez, J. (2006). Acacia melanoxylon R. Br. Ed. Zócalo. 93 p.
- Mercedes, L. (2019). Evaluación de métodos de producción de plántulas de guarango (*Caesalpinia spinosa*). Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.

- Mercedes, L. D. R. 2019. Evaluación de métodos de producción de plántulas de guarango (*Caesalpinia spinosa*). Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador. 76 p.
- Merino, P. (2015). Propagación asexual con esquejes apicales de ciprés limón. Uruguay.
- Mérola, R (2012). Tratamientos para inhibir dormancia en semillas forrajeras. Uruguay.
- Mesón, M. (1993). Silvicultura mediterránea: El cultivo del monte. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Molina, K. (2009). Desarrollo para cinco cultivos peruanos. Lima – Perú. 3 p.
- Moreno, F. (1984). El árbol al servicio del agricultor. Manual de agroforestería para el desarrollo rural. Turrialba, Costa Rica. pp. 453–455.
- Muños, P. (2004). Análisis biológico–económico de una plantación forestal sometida a distintas dosis de fertilización. La Paz, Bolivia.
- Olson, G. (2012). Soils and the environment: A guide to soil surveys and their applications. Springer Science & Business Media.
- ONIA–OMIT. (2002). Manual de prácticas silviculturales de aprovechamiento en el bosque latifoliado de Honduras. La Ceiba, Honduras. 45 p.
- Ortiz, R. 2022. Caracterización morfológica y fisiológica de semillas de tara (*Caesalpinia spinosa*) en ambientes áridos. Universidad Nacional de Loja (UNL). 90 p.

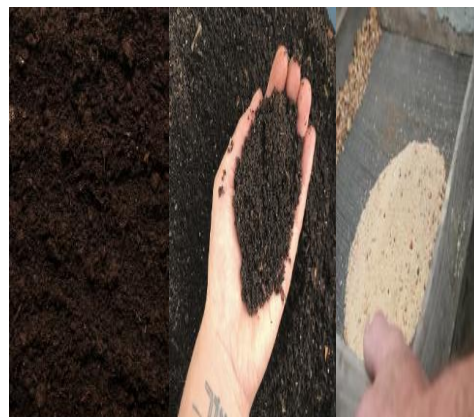
- Ossio, A. M. (2010). Determinación de diferentes combinaciones de sustratos y tratamientos pregerminativos en molle (*Schinus molle*) en la zona de Cota Cota. La Paz, Bolivia.
- Paco, M. (2012). Evaluación del efecto de tres tratamientos pregerminativos en tres tipos de sustrato en la germinación de la tara (*Caesalpinia spinosa*). Centro Experimental de Cota Cota, Facultad de Agronomía. 51 p.
- PDM. (2010–2015). Plan de desarrollo municipal del Municipio de Inquisivi, Provincia Inquisivi. La Paz, Bolivia. 23 p.
- Perú Ecológico. (2009). Medicina y tinte en una sola especie. Impreso en Perú. s/p.
- Pieter, A. (1982). *Acacia melanoxylon*: Su potencial en la silvicultura chilena. En: Brown, A. G. (Ed.), Blackwood management: Learning from New Zealand. 23–29 pp.
- Polo, F. D. (2016). Insectos y ácaros perjudiciales en una plantación de tara (*Caesalpinia spinosa*) durante la primavera en Lurín. Perú.
- Ramos, Q. (1990). Introducción a la botánica forestal (2ª ed.). México D.F.: Editorial Trillas. 151 p.
- Reynel, C. (2007). Árboles y arbustos andinos para agroforestería y conservación de suelos. Perú. 463 p.
- Rodríguez, R. M. (2000). Morfología y anatomía vegetal. Cochabamba, Bolivia: Editorial Los Amigos del Libro. 465 p.

- Sánchez, A. J. 2023. Tratamientos pre-germinativos en semillas de tara (*Caesalpinia spinosa*) y su efecto en vivero. Universidad Nacional de Loja (UNL). 88 p.
- Sandoval, M. (1997). Guía para el uso de árboles en sistemas agroforestales. Santa Cruz, Bolivia: CIAT–MBAT, Editorial Landívar. 187 p.
- Tarima, J. (1998). Manual de viveros (comunales y familiares) (2ª ed.). Santa Cruz, Bolivia: CIAT–MBAT.
- Varela, S. (2011). Latencia y germinación de semillas: Tratamientos pregerminativos. (ISSN 1853-4775)].
- Velásquez, J.. (2012). Tratamientos pregerminativos en semillas de *Gulupa (Passiflora edulis Sims)*. pp. 81–89.
- Velásquez,J.(2021). Origen y domesticación de Tara spinosa (*Leguminosae, Caesalpinioideae*). pp. 131–159.
- Villegas , P. 2024. Evaluación de escarificación térmica y mecánica en semillas de tara (*Caesalpinia spinosa*) bajo diferentes sustratos. Escuela Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). 80 p.
- Vinifex. (2006). Proyecto regional de fortalecimiento de la vigilancia fitosanitaria en cultivos de exportación no tradicional. Producción de sustratos para viveros. Costa Rica: República de China – OIRSA. 47 p.

- William, R. (1991). Guía para la manipulación de semillas forestales: Estudio con especial referencia a los trópicos. DANIDA–FAO Montes N° 20/2. 502 p.
- Zalles, T. (1988). Manual del técnico forestal: Silvicultura y viveros. Cochabamba, Bolivia: Escuela Técnica Superior Forestal, Misión Forestal Alemana UMSS–GTZ. pp. 3,37.
- Zambrano M, A. J. (2018). Superación de la latencia en semilla de Kudzu (*Pueraria phaseoloides*). Bolivia.
- Zeballos, M. (2000). Estudio de los cambios en la composición florística, cobertura vegetal y fenología a lo largo de un ciclo anual en el área permanente de Cota Cota. Tesis de grado. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. 110 p.

8. ANEXOS

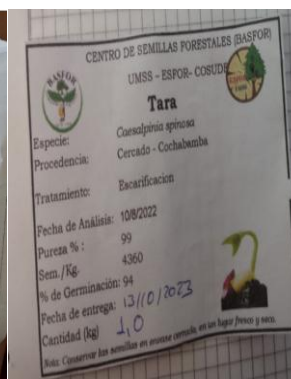
Anexo 1. Reconocimiento del área de estudio.



Sede de kallutaca - Lugar de tesis

Tierra del lugar - Humus – arena

Anexo 2. Semilla



Exportación de semilla de Santa Cruz

Anexo 3. Preparación de área de estudio



Limpieza



Preparado y reparado de almacigo

Anexo 4. Preparación de almacigueras



Preparación de almácigos



Desinfección de almácigos

Anexo 5. Preparación de la semilla tara



Conteo de semilla para cada tratamiento



Evulción de 2-4 minutos

Anexo 6. Sembrado de las semillas



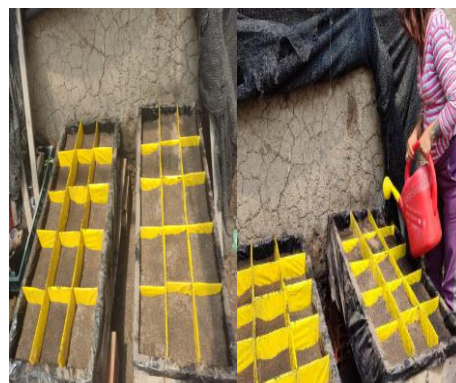
Siembra de 24 horas



siembra de 2 minutos



Sembrado de 4 minutos



Sembrado y riego

Anexo 7. Toma de datos



Toma de datos cada 15 días



Desmalezado y riego

Anexo 8. Riego y cuidado



Conclusión de tesis



desarrollo radicular

Anexo 9. Cuaderno de campo

Largo de raíz	Bloque	Variedad	Escarificación	Sustrato	Altura (cm)	N° de Hojas	Germinación (%)	Diametro de tallo	Largo de raíz
6,1	1	1	Remojo 24 h	3:02:01	5	8	35	2,9	6,1
4,8	1	1	Remojo 24 h	2:02:02	4,7	6	38	2,7	4,8
4,3	1	1	Remojo 24 h	2:03:01	4,6	3	32	2,6	4,3
9	1	2	Agua 2 min	3:02:01	9	25	42	3,8	9
7,5	1	2	Agua 2 min	2:02:02	7,1	22	48	3,5	7,5
7	1	2	Agua 2 min	2:03:01	7	20	45	3,4	7
9,5	1	3	Agua 4 min	3:02:01	8,9	29	68	5,1	9,5
7	1	3	Agua 4 min	2:02:02	6,9	28	62	4,8	7
6,3	1	3	Agua 4 min	2:03:01	7,1	25	65	4,6	6,3
5	2	1	Remojo 24 h	3:02:01	4,9	7	37	2,8	5
4,6	2	1	Remojo 24 h	2:02:02	4,8	5	39	2,6	4,6
4,1	2	1	Remojo 24 h	2:03:01	4,7	4	34	2,5	4,1
5,6	2	2	Agua 2 min	3:02:01	7,1	19	45	3,7	5,6
5,2	2	2	Agua 2 min	2:02:02	7,1	16	49	3,4	5,2
5,8	2	2	Agua 2 min	2:03:01	6,8	14	47	3,3	5,8
9,8	2	3	Agua 4 min	3:02:01	9,2	31	69	5	9,8
8,8	2	3	Agua 4 min	2:02:02	9,1	27	64	4,7	8,8
7,3	2	3	Agua 4 min	2:03:01	8,8	26	67	4,5	7,3
4,9	3	1	Remojo 24 h	3:02:01	4,9	6	34	2,85	4,9
4,6	3	1	Remojo 24 h	2:02:02	4,8	4	37	2,65	4,6
3,9	3	1	Remojo 24 h	2:03:01	4,8	5	31	2,55	3,9
7,4	3	2	Agua 2 min	3:02:01	7,3	28	41	3,75	7,4
7,1	3	2	Agua 2 min	2:02:02	7,3	25	47	3,45	7,1
6,5	3	2	Agua 2 min	2:03:01	6,8	26	44	3,35	6,5
10	3	3	Agua 4 min	3:02:01	9,4	30	67	5,05	10
8,9	3	3	Agua 4 min	2:02:02	9,2	29	61	4,75	8,9
7,9	3	3	Agua 4 min	2:03:01	8,8	28	64	4,55	7,9

Anexo 10. Promedio de temperatura

TEMPERATURA			
FECHA		MINIMA	MAXIMA
18/03/2024	18/03/2024	5,8	43,8
01/04/2024	01/04/2024	0,9	52,9
15/04/2024	15/04/2024	9,8	45,2
29/04/2024	29/04/2024	8,2	40
13/05/2024	13/05/2024	-0,8	37
27/05/2024	27/05/2024	1,2	41
10/06/2024	10/06/2024	0,2	39

Anexo 11. Calculo de germinación

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Germinación	27	0,99	0,99	2,58

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC

especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		3818,85	10	381,89	251,13	<0,0001
Bloque		69,81	2	34,91	22,95	<0,0001
sustrato		28,32	2	14,16	9,31	0,0021
Escarificación		3714,77	2	1857,39	1221,45	<0,0001
sustrato*Escarificación		5,95	4	1,49	0,98	0,4472
Error		24,33	16	1,52		
Total		3843,19	26			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,5206 gl: 16

Bloque Medias n E.E.

2	47,88	8	0,44	A
3	47,85	10	0,40	A
1	45,67	9	0,41	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,5206 gl: 16

sustrato Medias n E.E.

2,2,2	49,11	9	0,41	A
3,2,1	46,78	9	0,41	B
2,3,1	45,20	9	0,42	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,5206 gl: 16

Escarificación Medias n E.E.

4 min	63,58	9	0,42	A
2 min	43,78	9	0,41	B
24 h	35,78	9	0,41	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,5206 gl: 16

sustrato Escarificación Medias n E.E.

2,2,2	4 min	64,67	3	0,71	A
2,3,1	4 min	63,30	3	0,72	A
3,2,1	4 min	62,67	3	0,71	A
2,2,2	2 min	45,00	3	0,71	B
2,3,1	2 min	43,67	3	0,71	B C
3,2,1	2 min	42,67	3	0,71	C
2,2,2	24 h	37,67	3	0,71	D
3,2,1	24 h	35,00	3	0,71	E
2,3,1	24 h	34,67	3	0,71	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 12. Cálculos para altura de planta

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura	27	0,91	0,85	9,61

Datos desbalanceados en celdas.

Para otra descomposición de la SC

especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		70,60	10	7,06	16,10	<0,0001
Bloque		1,60	2	0,80	1,83	0,1932
sustrato		2,72	2	1,36	3,10	0,0729
Escarificación		65,70	2	32,85	74,90	<0,0001
sustrato*Escarificación		0,59	4	0,15	0,33	0,8504
Error		7,02	16	0,44		
Total		77,62	26			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,4385 gl: 16

Bloque Medias n E.E.

3	7,08	10	0,21	A
2	6,71	8	0,23	A
1	6,70	9	0,22	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,4385 gl: 16

Escarificación Medias n E.E.

4 min	8,63	9	0,22	A
2 min	7,28	9	0,22	B
24 h	4,80	9	0,22	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,4385 gl: 16

sustrato Escarificación Medias n E.E.

3,2,1	4 min	9,17	3	0,38	A
2,2,2	4 min	8,40	3	0,38	A B
2,3,1	4 min	8,17	3	0,39	A B
3,2,1	2 min	7,80	3	0,38	B C
2,2,2	2 min	7,17	3	0,38	B C
2,3,1	2 min	6,87	3	0,38	C
3,2,1	24 h	4,93	3	0,38	D
2,2,2	24 h	4,77	3	0,38	D
2,3,1	24 h	4,70	3	0,38	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 13. Cálculos de número de hojas

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Nº de Hojas	27	0,99	0,99	5,97

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		2693,04	10	269,30	223,73	<0,0001
Bloque		54,74	2	27,37	22,74	<0,0001
Sustrato		56,96	2	28,48	23,66	<0,0001
Escarificación		2481,41	2	1240,70	1030,74	<0,0001
Sustrato*Escarificación		99,93	4	24,98	20,75	<0,0001
Error		19,26	16	1,20		
Total		2712,30	26			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,2037 gl: 16

Bloque	Medias	n	E.E.	
1	20,33	9	0,37	A
2	17,78	9	0,37	B
3	17,00	9	0,37	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,2037 gl: 16

Sustrato	Medias	n	E.E.	
2,3,1	20,11	9	0,37	A
3,2,1	18,44	9	0,37	B
2,2,2	16,56	9	0,37	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,2037 gl: 16

Escarificación	Medias	n	E.E.	
4 min	28,11	9	0,37	A
2 min	21,67	9	0,37	B
24 h	5,33	9	0,37	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 1,2037 gl: 16

Sustrato	Escarificación	Medias	n	E.E.	
2,3,1	4 min	29,00	3	0,63	A
2,2,2	4 min	28,00	3	0,63	A B
3,2,1	4 min	27,33	3	0,63	A B
2,3,1	2 min	26,33	3	0,63	B
3,2,1	2 min	22,33	3	0,63	C
2,2,2	2 min	16,33	3	0,63	D
3,2,1	24 h	5,67	3	0,63	E
2,2,2	24 h	5,33	3	0,63	E
2,3,1	24 h	5,00	3	0,63	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 14. Cálculos de diámetro de tallo

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
diámetro de tallo	27	0,99	0,99	2,28

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	20,54	10	2,05	294,84	<0,0001
Bloque	0,79	2	0,40	56,82	<0,0001
Sustrato	0,06	2	0,03	4,40	0,0300
Escarificación	19,68	2	9,84	1412,31	<0,0001
Sustrato*Escarificación	0,01	4	2,3E-03	0,33	0,8522
Error	0,11	16	0,01		
Total	20,65	26			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0070 gl: 16

Bloque Medias n E.E.

1	3,88	9	0,03	A
2	3,61	9	0,03	B
3	3,47	9	0,03	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0070 gl: 16

Sustrato Medias n E.E.

3,2,1	3,71	9	0,03	A
2,2,2	3,66	9	0,03	A B
2,3,1	3,59	9	0,03	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0070 gl: 16

Escarificación Medias n E.E.

4 min	4,76	9	0,03	A
2 min	3,52	9	0,03	B
24 h	2,68	9	0,03	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,0070 gl: 16

Sustrato Escarificación Medias n E.E.

3,2,1	4 min	4,83	3	0,05	A
2,2,2	4 min	4,78	3	0,05	A B
2,3,1	4 min	4,67	3	0,05	B
3,2,1	2 min	3,57	3	0,05	C
2,2,2	2 min	3,52	3	0,05	C
2,3,1	2 min	3,47	3	0,05	C
3,2,1	24 h	2,73	3	0,05	D
2,2,2	24 h	2,67	3	0,05	D
2,3,1	24 h	2,65	3	0,05	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 15. Cálculos de largo de raíz

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
largo de raíz	27	0,86	0,78	13,22

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	77,47	10	7,75	10,10	<0,0001
Bloque	1,97	2	0,98	1,28	0,3041
Sustrato	11,42	2	5,71	7,44	0,0052
Escarificación	61,59	2	30,80	40,14	<0,0001
Sustrato*Escarificación	2,49	4	0,62	0,81	0,5352
Error	12,28	16	0,77		
Total	89,75	26			

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,7673 gl: 16

Bloque	Medias	n	E.E.
1	6,83	9	0,29 A
3	6,80	9	0,29 A
2	6,24	9	0,29 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,7673 gl: 16

Sustrato	Medias	n	E.E.
3,2,1	7,48	9	0,29 A
2,2,2	6,50	9	0,29 B
2,3,1	5,90	9	0,29 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,7673 gl: 16

Escarificación	Medias	n	E.E.
4 min	8,39	9	0,29 A
2 min	6,79	9	0,29 B
24 h	4,70	9	0,29 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Test:Duncan Alfa=0,05

Error: 0,7673 gl: 16

Sustrato	Escarificación	Medias	n	E.E.
3,2,1	4 min	9,77	3	0,51 A
2,2,2	4 min	8,23	3	0,51 B
3,2,1	2 min	7,33	3	0,51 B C
2,3,1	4 min	7,17	3	0,51 B C
2,2,2	2 min	6,60	3	0,51 B C D
2,3,1	2 min	6,43	3	0,51 C D
3,2,1	24 h	5,33	3	0,51 D E
2,2,2	24 h	4,67	3	0,51 E
2,3,1	24 h	4,10	3	0,51 E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)