

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN RECURSOS  
NATURALES RENOVABLES**



**INFLUENCIA DE PRUEBAS DE ESTRÉS Y TAMAÑOS DE SEMILLA EN LA  
GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL DE CAOBA (*Swietenia macrophylla*  
King.) EN CONDICIONES DE LABORATORIO**

**Tesis**

**Para optar el título profesional de:**

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**PRESENTADO POR:**

**KEVIN NOÉ GABRIEL CASAS**

**Tingo María – Perú**

**2023**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
Tingo María - Perú



**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

### **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°48-2023-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 29 de mayo de 2023 a horas 6:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

#### **“INFLUENCIA DE PRUEBAS DE ESTRÉS Y TAMAÑOS DE SEMILLA EN LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL DE CAOBA (*Swietenia macrophylla* King.) EN CONDICIONES DE LABORATORIO”**

Presentado por el Bachiller: **KEVIN NOÉ GABRIEL CASAS**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENO”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del título correspondiente.

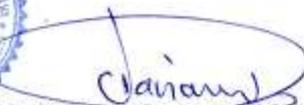
Tingo María, 26 de junio de 2023

  
Ing. M.Sc. **EDILBERTO DIAZ QUINTANA**  
PRESIDENTE

  
Ing. M.Sc. **PERCI-PETER COAGUILA RODRÍGUEZ**  
MIEMBRO

  
Ing. MSc. **WARREN RIOS GARCIA**  
MIEMBRO



  
Dr. **CASIANO AGUIRRE ESCALANTE**  
ASESOR



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 026 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

### CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Recursos Naturales Renovables

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
INFLUENCIA DE PRUEBAS DE ESTRÉS Y TAMAÑOS DE SEMILLA EN LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL DE CAOBA ( <i>Swietenia macrophylla</i> King.) EN CONDICIONES DE LABORATORIO	KEVIN NOÉ GABRIEL CASAS	14 % Catorce

Tingo María, 22 de enero de 2024

  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN  
Dr. Tomas Menacho Mallqui  
DIRECTOR

C.C. Archivo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN RECURSOS**  
**NATURALES RENOVABLES**



**INFLUENCIA DE PRUEBAS DE ESTRÉS Y TAMAÑOS DE SEMILLA**  
**EN LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL DE CAOBA**  
**(*Swietenia macrophylla* King.) EN CONDICIONES DE LABORATORIO**

**Autor** : GABRIEL CASAS, Kevin Noé

**Asesor** : Dr. AGUIRRE ESCALANTE, Casiano

**Programa** : Valoración de la biodiversidad y recursos naturales

**Línea de Investigación** : Manejo, conservación de la biodiversidad y recursos naturales

**Eje temático** : Manejo de recursos naturales

**Lugar de ejecución** : Laboratorio de Certificación de Semillas de la Facultad de Recursos Naturales Renovables - UNAS

**Duración del trabajo** : Fecha de inicio : marzo del 2020  
Término : agosto del 2020

**Financiamiento** : Propio : S/ 4 850,00

## DEDICATORIA

A Dios, la satisfacción y por el éxito de esta investigación, por regalarme salud y bienestar en mi vida, por no dejarme solo en los momentos que más necesitaba y por regalarme el don de la sabiduría para enfrentar los retos y obstáculos que se me presentaron o que se me presenten.

A mis padres Noé Gabriel y Maribel Casas, que siempre serán mi motor y motivo en todo, por su apoyo incondicionalmente en los momentos más difícil de mi vida, por brindarme todos los valores y virtudes que me ayudan a afrontar la vida y seguir adelante, por tener fe y creer en mí, por sus regaños que día a día han hecho que pueda comprender circunstancias invisibles para mí y, por mostrarme el significado de la vida. Por todo lo mencionado viviré eternamente agradecido.

A mi hermana, por confiar en mí, por brindarme su apoyo cuando lo necesité, por ser tan comprensible y por ser cómplice en tantas circunstancias de mi vida y por ser la mejor hermana del mundo.

A mi abuelita Rosa por demostrarme todo su amor, paciencia y apoyo moral e incondicional a lo largo de mi actual etapa de vida. Sus palabras de aliento que fueron necesarias para mí, durante mi etapa universitaria.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, por toda la contribución cultural, social y científica que me han brindado.

A el Dr. Casiano Aguirre Escalante, asesor en la presente investigación, por sus sabias contribuciones, dedicación constante, apoyo en el desarrollo práctico y por su confianza puesta en mi persona.

Al Ing. Edilberto Díaz Quintana, encargado del laboratorio de Certificación de Semillas Forestales de la FRNR, agradecerle por brindarme las facilidades para el uso de equipos del laboratorio y el ambiente adecuado para la ejecución de mi tesis.

Un agradecimiento muy especial hasta el cielo; para mi abuelito Samuel Casas, que siempre me brindó su amor, apoyo y consejos para poder ser un hombre de bien.

A mis amigos y compañeros de la universidad, por brindarme los ánimos y soporte en la ejecución de mi tesis para poder culminarlo con éxito.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Estado del arte.....	3
2.1.1. Internacionales .....	3
2.1.2. Nacionales.....	5
2.1.3. Locales .....	6
2.2. Marco teórico.....	6
2.2.1. <i>Swietenia macrophylla</i> (caoba).....	6
2.2.2. Las semillas.....	8
2.2.3. El sustrato y sus propiedades .....	11
2.2.4. El vigor de la semilla .....	13
2.2.5. Prueba de vigor de la semilla .....	15
2.2.6. El crecimiento de las plantas .....	17
2.3. Definiciones conceptuales .....	18
2.3.1. Coeficiente de variación .....	18
2.3.2. Semilla .....	18
2.3.3. Sustrato .....	19
2.3.4. Vigor .....	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	20
3.1. Lugar de ejecución.....	20
3.1.1. Ubicación política .....	20
3.1.2. Ubicación geográfica .....	20
3.1.3. Clima.....	20
3.1.4. Zona de vida.....	21
3.2. Materiales .....	21
3.2.1. Material biológico.....	21
3.2.2. Materiales y equipos .....	21
3.2.3. Insumos .....	21
3.3. Características del estudio .....	21

3.3.1. Tipo de investigación.....	21
3.3.2. Enfoque de investigación.....	21
3.3.3. Diseño de investigación.....	21
3.3.4. Nivel de investigación.....	22
3.4. Metodología.....	22
3.4.1. Determinación del tiempo de germinación, poder y energía germinativa de distintos tamaños de semillas de <i>S. macrophylla</i> en diferentes pruebas de estrés en laboratorio.....	22
3.4.2. Evaluación del crecimiento inicial de <i>S. macrophylla</i> en distintos tamaños de semilla y pruebas de estrés en laboratorio.....	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1. Tiempo de germinación, poder germinativo y energía germinativa de diferentes tamaños de semilla de <i>S. macrophylla</i> en pruebas de estrés.....	29
4.1.1. Tiempo de germinación en semillas de <i>S. macrophylla</i> .....	29
4.1.2. Poder germinativo de las semillas de <i>S. macrophylla</i> .....	33
4.1.3. Energía germinativa en semilla de <i>S. macrophylla</i> .....	36
4.2. Crecimiento inicial de las plántulas de <i>S. macrophylla</i> germinadas de diferentes tamaños de semillas en diferentes pruebas de estrés.....	37
4.2.1. Longitud de la parte aérea en plántulas de <i>S. macrophylla</i> .....	37
4.2.2. Longitud de la raíz en plántulas de <i>S. macrophylla</i> .....	40
4.2.3. Peso seco o biomasa de los plantones en <i>S. macrophylla</i> .....	42
V. CONCLUSIONES.....	45
VI. PROPUESTAS A FUTURO.....	46
VII. REFERENCIAS.....	47
ANEXO.....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Tratamientos y/o combinaciones en estudio. ....	23
2. Esquema de análisis de la varianza. ....	25
3. Análisis de la varianza para el inicio de germinación en <i>S. macrophylla</i> por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas. ....	30
4. Comparación de medias (Tukey) para el inicio de germinación en <i>S. macrophylla</i> por efectos de la prueba de estrés. ....	30
5. Comparación de medias (Tukey) para el inicio de germinación en <i>S. macrophylla</i> por efectos de los tamaños de las semillas. ....	30
6. Análisis de la varianza para el periodo de germinación en <i>S. macrophylla</i> por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas. ....	31
7. Comparación de medias (Tukey) para el periodo de germinación en <i>S. macrophylla</i> por efectos de la prueba de estrés. ....	31
8. Análisis de la varianza para el tiempo de germinación en <i>S. macrophylla</i> por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas. ....	32
9. Comparación de medias (Tukey) para el tiempo de germinación en <i>S. macrophylla</i> por efectos de la prueba de estrés. ....	32
10. Análisis de la varianza para el poder germinativo en <i>S. macrophylla</i> por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas. ....	34
11. Comparación de medias (Tukey) para el poder germinativo en <i>S. macrophylla</i> por efectos de la prueba de estrés. ....	35
12. Análisis de la varianza para la altura de plántulas en <i>S. macrophylla</i> por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas. ....	38
13. Comparación de medias (Tukey) para la altura de las plántulas en <i>S. macrophylla</i> por efectos de los tamaños de las semillas. ....	39
14. Análisis de la varianza para la longitud de la raíz de las plántulas en <i>S. macrophylla</i> por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas. ....	41
15. Análisis de la varianza para la biomasa en las plántulas de <i>S. macrophylla</i> por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas. ....	43

16.	Comparación de medias (Tukey) para la biomasa en las plántulas de <i>S. macrophylla</i> por efectos de los tamaños de las semillas.....	44
17.	Matriz de datos de la germinación de semillas de <i>S. macrophylla</i> .....	54
18.	Matriz de datos de la longitud radicular, longitud del tallo y biomasa de <i>S. macrophylla</i> .....	55
19.	Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 1. ....	56
20.	Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 2. ....	57
21.	Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 3. ....	58
22.	Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 4. ....	59
23.	Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 5. ....	60
24.	Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 6. ....	61
25.	Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 7. ....	62
26.	Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 8. ....	63
27.	Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 9. ....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Evaluación visual del vigor de semillas (ISTA, 2005).....	14
2. Mapa de ubicación del vivero y los árboles semilleros de <i>S. macrophylla</i> .....	20
3. Semillas de tamaños pequeños, medianas, grandes y cámara conservadora a 10,2°C.....	23
4. Diseño del experimento.....	24
5. Prueba de envejecimiento acelerado. ....	26
6. Tiempo de germinación en semillas de <i>S. macrophylla</i> sometidas a tratamientos. ....	29
7. Porcentaje de germinación de las semillas de <i>S. macrophylla</i> sometidas a pruebas de estrés y tamaños de semilla. ....	34
8. Energía germinativa del total de semillas germinadas en <i>S. macrophylla</i> . ....	36
9. Altura de plántulas en <i>S. macrophylla</i> por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas.....	38
10. Longitud de la raíz de las plántulas en <i>S. macrophylla</i> por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas. ....	40
11. Biomasa en las plántulas de <i>S. macrophylla</i> por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas.....	43
12. Distribución de semillas de <i>S. macrophylla</i> por prueba de estrés. ....	64
13. Siembra de semillas de <i>S. macrophylla</i> por tratamiento. ....	64
14. Primeras semillas de <i>S. macrophylla</i> germinadas. ....	65
15. Germinación de semillas de <i>S. macrophylla</i> en su apogeo. ....	65
16. Término de la instalación de la investigación en semillas de <i>S. macrophylla</i> por pruebas de estrés. ....	66
17. Evaluación <i>in situ</i> de la investigación en semillas de <i>S. macrophylla</i> . ....	66
18. Medición inicial de altura de plántulas de <i>S. macrophylla</i> .....	67
19. Medición inicial de longitud de raíz de plántulas de <i>S. macrophylla</i> .....	67
20. Llenado de sustrato en bolsas de polietileno para plántulas de <i>S. macrophylla</i> .....	68
21. Estaqueo de bolsas para trasplante de plántulas de <i>S. macrophylla</i> . ....	68
22. Trasplante de plántulas de <i>S. macrophylla</i> a bolsas. ....	69

23.	Plántulas de <i>S. macrophylla</i> trasplantadas. ....	69
24.	Plántulas de <i>S. macrophylla</i> aclimatadas. ....	70
25.	Plántulas de <i>S. macrophylla</i> vigorosas. ....	70
26.	Evaluación final longitud de raíz de plántulas de <i>S. macrophylla</i> . ....	71
27.	Evaluación final de altura de plántulas de <i>S. macrophylla</i> . ....	71

## RESUMEN

Este estudio determinó los efectos de las pruebas de estrés y el tamaño de la semilla sobre la capacidad de germinación y el crecimiento inicial de *Swietenia macrophylla* (caoba) bajo condiciones de laboratorio, se cuantificó el tiempo de germinación, la potencia y la energía de germinación en semillas de diferentes tamaños y se evaluó el crecimiento inicial (altura, longitud de raíces y biomasa) de la especie indicada. Las pruebas de germinación se adecuaron a un diseño completamente al azar (DCA) con 9 tratamientos y 4 repeticiones permutadas con factores 3A x 3B, siendo A (prueba de estrés) y B (tamaño de semilla). Se desarrolló en tres fases: planificación, instalación y evaluación. Los resultados obtenidos muestran que, las semillas sometidas a los dos factores estudiados mostraron su efecto en las variables de germinación, estadísticamente el tratamiento de mayor desempeño fue T<sub>2</sub> (sin prueba de estrés + semillas medianas), germinación a los 24,50 días, poder de germinación 76,00% y energía germinativa del 93,42%. Los mejores valores se obtuvieron en semillas medianas sometidas al envejecimiento acelerado, ya que arrojó una altura de 28,51 cm, una longitud de raíz de 8,13 cm y un peso seco de 41,23 g por planta. Se concluye que, la prueba de estrés puede favorecer o perjudicar el porcentaje y energía germinativa los cuales son indicadores fundamentales para un buen silvicultor y es de suma importancia su conocimiento para esta especie.

Palabras claves: Biomasa, crecimiento, efecto, energía germinativa, poder germinativo.

## ABSTRACT

In this study the effects of stress tests and seed size on the germination capacity and initial growth of *Swietenia macrophylla* (caoba) under laboratory conditions was found. The germination time, power, and germination energy of the seeds were found for the different sizes, and the initial growth (height, root length, and biomass) of the indicated species was evaluated. The germination tests fit a completely randomized design (CRD; DCA in Spanish), with nine treatments and four permutated repetitions, with 3A x 3B factors, where A [was the] stress test and B [was the] seed size. This was carried out in three phases: planning, installation, and evaluation. The results that were obtained revealed that the seeds submitted to the two factors in study showed the effect on the germination variables; statistically the treatment with the greatest development was T<sub>2</sub> (no stress test + medium seeds), [with] germination at 24.50 days, a germinative power of 76.00%, and a germinative energy of 93.42%. The best values were obtained with the medium seeds, submitted to accelerated aging, since they gave a height of 28.51 cm, a root length of 8.13 cm, and a dry weight of 41.23 g, per plant. It was concluded that the stress test can favor or harm the percentage and germinative power, which are fundamental indicators of good silviculture, and knowing these for this specie is of utmost importance.

Keywords: biomass, growth, effect, germinative energy, germinative power

## I. INTRODUCCIÓN

Debido a su elevado valor económico, la madera de la especie forestal *Swietenia macrophylla* (caoba) se utilizan en productos como enchapados, carpintería y ebanistería fina por presentar un excelente acabado; debido a ello que, tras varias décadas de explotación excesiva, sus poblaciones fueron diezmadas y fragmentadas en su área de distribución; además de la dificultad que tiene para regenerarse en forma natural, la han puesto en riesgo de desaparición.

Para la mayoría de las especies forestales así como especies medicinales y/o frutales que se encuentren en la amazonía y que poseen elevada importancia económica y ambiental, las semillas que poseen vienen a ser el principal mecanismo para su reproducción, fisiología y rasgos genéticos afectan significativamente en el éxito de las futuras plantaciones, los análisis enfocados a conocer la pureza y la germinación fueron útilmente estudiadas con fines de mejorar de la calidad de las semillas, sin embargo, actualmente se vienen estudiando otros factores de calidad de semillas, como por ejemplo: pureza genética, sanidad y vigor, debido a que dichos indicadores pueden afectar en su germinación y crecimiento inicial de las plántulas.

Las pruebas de germinación son la base en la investigación de la calidad y vigor las semillas; sin embargo, debido a la diversidad de semillas pueden variar en forma, tamaño, estructura del embrión etc. De estos parámetros, la dimensión que presentan las semillas son considerados como un importante factor; debido que, influye significativamente sobre la germinación y otros atributos. El problema está en que se desconoce el tamaño efectivo para garantizar la calidad y vigor de las semillas siendo necesario además algunas pruebas de estrés para determinarlo.

En tal sentido considerando la importancia de la especie y el hecho que permitirá mejorar los índices de almacenamiento y también la calidad de las plantas durante la fase de vivero, formulamos la pregunta concerniente a: ¿Cuál será la influencia de la prueba de estrés y el tamaño de semilla en la germinación y su crecimiento inicial de *Swietenia macrophylla* (caoba) bajo condiciones de laboratorio?, y en base a la revisión de los antecedentes se planteó como hipótesis: La influencia del estrés y las dimensiones de las semillas en el proceso germinativo y elongación de la caoba presentará significancia y estará demostrado por medio del tiempo de germinación, energía y poder germinativo y su altura inicial de plántula.

**Objetivo general:**

Evaluar la influencia de la prueba de estrés y el tamaño de la semilla en la germinación y crecimiento inicial de *Swietenia macrophylla* (caoba) en condiciones de laboratorio.

**Objetivos específicos:**

- Cuantificar el tiempo de germinación, poder y energía germinativa de distintos tamaños de semillas de *S. macrophylla* (caoba) en diferentes pruebas de estrés en laboratorio.
- Evaluar el crecimiento inicial (altura, longitud de raíz y biomasa) de *S. macrophylla* (caoba) en distintos tamaños de semilla y pruebas de estrés en laboratorio.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Estado del arte

#### 2.1.1. Internacionales

Tenorio (2018) realizó ensayos de germinación de *S. macrophylla* reportando que en el vivero de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) solamente en umbráculo alcanzó un 3,70% y en el caso de utilizar un mini umbráculo reportó un 7,90%, dichos resultados bajos lo atribuyeron a la variación de los factores ambientales como la temperatura existente en Riobamba.

Sol et al. (2016) midieron las dimensiones de las semillas de *S. macrophylla* y evaluaron su germinación. Concluyeron que, la germinación fue 100% en semillas provenientes de Santo Tomás, de 63,3% en semillas provenientes de Boca del Cerro, además, la germinación de las semillas provenientes de San Marcos no se correlacionó con el ancho y largo de las mismas.

En Nicaragua, Altimira et al. (2015) estudiaron la capacidad que tiene *Cedrela odorata* para que crezca en suelos degradados y diferentes condiciones. Emplearon como sustrato la tierra de una finca ganadera y para el testigo emplearon la tierra de bosque seco tropical, luego aplicaron riegos basados en la cantidad de lluvia que cae en la zona en estudio cuyos niveles fueron: 50%, 75%, 100% (control), 150% y 200%. Como resultado, la especie posee buena capacidad de crecimiento en suelos degradado con lluvias cerca de 1200 mm anuales y hasta un 50% por debajo de dicho valor. Esta especie posee limitantes en germinar con lluvias por encima de la actual, en especial cuando un suelo presenta poca capacidad de infiltración. Cuando la lluvia supera 1200 mm anual, el desarrollo de *C. odorata* es bajo, en especial su raíz que le dificultaría la supervivencia durante la estación seca.

El Instituto Boliviano De Investigación Forestal - IBIF (2011) manifiesta que, la semilla de *S. macrophylla* pierde su poder germinativo pasadas las dos o tres semanas después de cosecharlo, pero, en el caso de que se almacene con condiciones controladas se logra mantener por muchos meses su viabilidad.

En México, Huerta y Rodríguez (2010) manifiestan que, analizaron de qué manera la temperatura con el tamaño de las semillas afectan en lo que germina *Quercus rugosa*. En una cámara de ambiente controlado evaluaron la energía y poder germinativo utilizando semillas de tamaños: grande, mediana y pequeña, sometidas a dos niveles de temperaturas día y noche (24°C/19°C y 19°C/14°C, con 12 h de fotoperiodo). Utilizaron seis

repeticiones establecidos bajo el diseño en bloque completo aleatorio. Reportaron que, las dimensiones de las semillas afectaron de manera significativa a la germinación potencial, resaltando mayor germinación en las semillas grandes. Hubo interacción estadística entre los factores estudiados y fue resaltante la energía germinativa en semillas de tamaño mediano que se sometieron a elevadas temperaturas.

En México, Negreros et al. (2010) describieron las cualidades de las plántulas de *Swietenia macrophylla* y *Tabebuia rosea* sembradas en diferentes densidades (50 y 100 plántulas/m<sup>2</sup>) y tipos de sustratos como es el suelo y el suelo más compost (S+C). El sustrato S+C afectó significativamente al crecimiento diametral, a la longitud del tallo, el peso radicular y la relación tallo-raíz en ambas especies. Al emplear el sustrato suelo, el 76% de las plántulas registraron valores menores o iguales a tres correspondientes a la relación tallo-raíz, mientras que en el caso del S+C hubo un 21% de individuos con esta categoría. Al llevarlas a terreno definitivo y transcurrir dos meses de tiempo, se observó mayor tasa de mortalidad de las plantas correspondiente a *S. macrophylla* producidas en el S+C en comparación a la otra especie estudiada.

En México, Reyes y Rodríguez (2005) estudiaron el efecto que ocasionarían al considerar emplear niveles de temperatura, luz y tamaño de semilla sobre la germinación de *Nolina parviflora*. Los factores con sus niveles estudiados fueron: las temperaturas (20°C, 25°C y 30°C), la luz (permanente y oscuridad), los tamaños de las semillas (grande, mediano y pequeño), además trataron antes de la germinación remojándolos (24 horas y sin remojarlos). Se registró interacción estadística entre la temperatura con la luz y también el tamaño de las semillas con la temperatura. La germinación sobresalió en medio carente de luz con 25 °C registrando una media de 88,1%; en el caso de la energía germinativa, se registró interacción significativa entre la luz con la temperatura, en donde al utilizar una temperatura de 20 °C con ausencia de luz se registra 15,5 días. Como conclusión, las semillas de *N. parviflora* necesitan de medios con sombra para que germinen.

En Argentina, Salinas et al. (2000) estudiaron las alteraciones que producen el deterioro de la semilla de *Glycine max* (soja) empleando varios ensayos referidas al vigor. Emplearon diversas semillas de dicha especie que se sometieron al ensayo de germinación y varios ensayos de vigor: tetrazolio (T), envejecimiento acelerado (EA), deterioro controlado (DC) y conductividad eléctrica (CE). Las semillas con DC y 22% de humedad registró en mayor medida la merma del vigor respecto al EA. La CE por cada semilla se consideraría un ensayo adecuado con fines que se detecte alteraciones que ocurren en la membrana citoplasmática al estudiar tempranamente el deterioro de la semilla. Para

clasificar la viabilidad y vigor por medio del T se da por el lugar donde está dañado, mas no indica el tipo de daño en las semillas.

En Costa Rica, Li et al. (1996) estudiaron el efecto de envejecer aceleradamente las semillas sobre el vigor y germinación de la flor *Impatiens wallerana* híbridos F<sub>1</sub> Super Elfin White (SEW) y Dazzler Violet (DV), se separó en dos dimensiones las semillas, luego se envejecieron al someterlas a humedad relativas de 35 °C y 100% por tiempos desde 0, 24, 48 y 72 horas, además se almacenó a 20 °C en periodos de 5 y 21 días. Como resultado, las semillas grandes obtuvieron mayor germinación. Las semillas del SEW fueron sensibles a los tratamientos utilizados; las variables evaluadas fueron superiores en el híbrido DV a excepción de las características concernientes a una plántula anormal.

En múltiples especies vegetales el tamaño siempre va de la mano con la germinación, puesto que las semillas más grandes presentan mejores tasas de germinación, como ejemplo se reporta a *Cecropia obtusifolia* en donde se encontró el doble de los resultados al comparar las semillas pequeñas con grandes (Tenorio et al., 2008), resultados muy similares se encontró en *Tragopogon pratensis* ssp. *pratensis* (Van Mólken et al., 2005) y también en *Helianthus annuus* (Krishnaveni y Sivasubramanian, 2001).

### **2.1.2. Nacionales**

En el distrito Banda de Shilcayo, Salas (2019) usó la técnica del elemento faltante en la producción de plántones de *S. macrophylla*, al culminar las evaluaciones de las sintomatologías logró identificar que el hierro y el nitrógeno fueron los que registraron individuos con elevado índice de deficiencia durante su desarrollo y crecimiento; además, se añade que en los demás elementos fue notorio las deficiencias pero la menor escala, concluyendo que, se tiene que tener un sustrato formulado con los elementos esenciales para a producción de la especie en estudio.

En Rioja, Villegas (2018) estudió fuentes de materia orgánica y dosis de biol en plántones de *S. macrophylla*; a un mes de edad, los plántones presentaron alturas promedios que fluctuaron desde los 9,9 cm hasta los 12,4 cm.

En Lambayeque, Gómez et al. (2016) reportaron que las semillas de *S. macrophylla* germina a los 25 días que se sembraron previamente tratadas en agua por 48 horas.

En la Provincia de Requena, Flores (2001) determinó el poder germinativo de las semillas de *S. macrophylla*, utilizando diferentes tratamientos que provenían del tiempo de remojo y el tiempo de riego. Mejor porcentaje de germinación se

obtuvo al remojo 24 horas las semillas y regarlas cada 36 horas, igual que el mismo tiempo de remojo, pero luego regándolo de manera diaria donde la media fue del 94%.

### 2.1.3. Locales

En Tingo María, Verde (2014) estudió el efecto de los sustratos y el tamaño de semillas sobre la germinación y crecimiento de *Swietenia macrophylla*, utilizó dos sustratos y tres dimensiones de semillas procedentes de un solo árbol semillero y midieron los indicadores de germinación además de la altura, diámetro a nivel del cuello del plantón, la relación tallo-raíz y el peso seco como indicadores del crecimiento. En resultados, mejor germinación (PG: 82,2%) fue observada en el sustrato tipo 1, las semillas grandes también registraron mayor germinación (PG: 83,0%), y al combinar el sustrato tipo 2 y con plántulas procedentes de semillas grandes se obtuvo individuos con mejor diámetro del tallo con una media de 0,51 cm y en el sustrato tipo 1 utilizando semillas grandes favoreció en la relación tallo-raíz como en el peso seco; además, el tamaño de las semillas estuvieron correlacionadas con la altura y el diámetro del tallo en los plantones.

## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1. *Swietenia macrophylla* (caoba)

#### 2.2.1.1. Taxonomía de la especie

Cronquist (1981) lo clasificó taxonómicamente a la especie en estudio mediante el siguiente esquema:

Reino	:	Plantae
Sub Reino	:	Tracheobionta
Super división	:	Spermatophyta
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Magnoliopsida
Subclase	:	Rosidae
Orden	:	Sapindales
Familia	:	Meliaceae
Género	:	<i>Swietenia</i>
Especie	:	<i>Swietenia macrophylla</i> King
Nombre común	:	Caoba

#### 2.2.1.2. Descripción botánica

Árbol dicotiledóneo de la familia de las Meliáceas, con altas probabilidades de ataque del *Hypsipyla grandella*, que se alimenta del brote principal,

ocasionando bifurcaciones y deformaciones en etapas juveniles. De fuste recto que puede alcanzar los 50 m de altura, le brotan ramificaciones por encima de la mitad del fuste y presenta en los especímenes adultos un DAP de 1-2 m, presenta aletones pequeños como soporte a causa de tener un sistema radical bastante superficial (Aróstegui, 1982).

Presenta corteza de hasta 2 cm de espesor, grisáceo claro y fraccionado levemente en placas por hendiduras que aparecen apenas en etapas juveniles, fisurada en arboles adultos, su corteza interna tiene color rosado, fibrosa y es amargo, con un profundo y con aroma intensamente que lo caracteriza.

Su copa se caracteriza por presentar forma globosa o redondeada con follaje denso, de coloración verde claro; su hoja es compuesta paripinnada e impar-pinnada, alterna con dimensiones entre 30 a 70 cm de longitud que poseen desde 5 hasta 11 pares de foliolos (mayormente se observan de 6 a 7 pares). El foliolo por lo general es lanceolado u oblongo cuya medida es entre 8 hasta 17 cm de longitud con 2,5 hasta 5,5 cm en el ancho, es acuminado, obtuso y a veces mucronado en el ápice, agudo hasta redondeado y deformado en la base, completos en los límites, verde negruzco en la cara superior y verde claro y amarillento en la cara inferior, glabros. El peciolo mide entre 1 hasta 1,5 cm de longitud (Aróstegui, 1982).

Presenta inflorescencia con panícula variables en tamaño, por lo general es glabra. La flor posee hasta 9 mm de longitud, con perfume tenue, de coloración crema verdoso. Su cáliz presenta color verde, cuya forma es cónica, que alcanza hasta 3,0 cm de longitud y posee cinco lóbulos dentados; con corola en forma tubular, formando cinco pétalos, cuya dimensión es entre 7 a 8 mm. Posee cinco estambres solitarios de longitud inferior a sus pétalos. El estilo es superior a la dimensión del estambre con estigma ensanchado (Aróstegui, 1982).

La especie posee frutos tipo cápsulas leñosas dehiscentes, elípticos-oblongos, de una longitud de hasta 5 cm, formando grupos colgados en las partes finales de las ramas. En etapas maduras es leñosa, amarronado, con muchas lenticelas de color amarillo. Suelen quedarse mucho tiempo en el árbol. Salen sus frutos interanuales, sin embargo, cada año en las islas del Caribe y Venezuela (Aróstegui, 1982).

Las semillas son aladas cuya longitud fluctúan entre 2,0 cm hasta 2,5 cm y en el caso del ancho varía entre 5,0 mm hasta a 8,0 mm, posee una coloración marrón, mientras que la testa se caracteriza por presentar una coloración castaño rojizo. El fruto que es una cápsula registran semillas que fluctúan entre 20 a 40 que se encuentran acomodados en dos hileras. En un año, un árbol de caoba podría producir alrededor de 10

millones de semillas y casi todas se transportarán a través del viento. Su madera posee olor característico, de peso liviano y variable entre 0,42 a 0,63, frecuentemente de blanda a casi dura. La albura es de color blanco con amarillo o gris diferenciado notoriamente del duramen, que posee un rojizo amarronado. Su textura es fina a veces tiende a ser áspero (Aróstegui, 1982).

### **2.2.1.3. Comportamiento fenológico**

La especie se caracteriza por ser caducifolio, las hojas caen al momento de maduración de los frutos, antes de florecer. Su floración es entre abril y agosto algunas veces llega a octubre, variando según el grado altitudinal y la latitud donde se encuentra ubicado, el fruto tiende a madurar desde los 6 hasta los 9 meses.

La época que caen las hojas es a mediados de año y vuelve a brotar a inicios del año siguiente. Su madurez reproductiva es a los 15 años (Herrera, 1996).

### **2.2.1.4. Distribución y hábitats**

La caoba, originario de América tropical, se desarrolla desde los 0 hasta los 1 700 msnm. Se distribuye desde México que se ubica a una Latitud de 26° Norte y termina en Argentina a una Latitud de 28° Sur. Se desarrolla en suelos con índices volcánico o calizo, con buen drenaje y con buena permeabilidad. Su clima favorito es el húmedo a una precipitación de 2,500 - 4,000 mm anuales. Su temperatura ideal es 25 °C, pero resiste hasta 35°C (Conafor, 2007).

### **2.2.2. Las semillas**

Las semillas son embriones de plantas que han madurado y se encuentran en una fase de vida latente. Se caracteriza porque permanece en ese estado por periodos prolongados de tiempo, característica que depende de la especie que se esté estudiando. En el caso de que una semilla se encuentre bajo condiciones del ambiente muy adecuados, romperá su estado de latencia y germinará de forma voluntaria (Strasburger, 2004).

Las semillas son las estructuras producidas por el desarrollo de los óvulos después de la fertilización de las plantas con semillas. Cada semilla consta de un embrión, endospermo, tejido vegetativo y una membrana que protege al embrión. Si las condiciones ambientales de la semilla resultan favorables, germinará, es decir, comenzará a crecer (Orti, 2009).

Es el óvulo fecundado, transformado y madurado. Constituye los órganos dispersos y persistentes de las angiospermas y representa el pináculo de la evolución reproductiva de las plantas. Esto resulta de la embriogénesis cigota, que incluyen cambios en sus formas, su estructura y de expresión génica que ocurren desde cuando se forma el cigoto

hasta que culmine su desarrollo. Es doble su fecundación cuando se enfoca a los vegetales que florecen: de los gametos masculinos, uno tiende a fecundar el gameto femenino, célula huevo u ovocélula que luego forma el cigoto, y el otro gameto tiende a unirse a los núcleos polares y forma el endosperma (Courtis, 2013).

La formación de la semilla por medio del material seminal, ubicado en el ovario de una flor, después de efectuarse la fecundación por el polen, este fenómeno es propio de los géneros *Cedrela* y *Swietenia* (Megias et al., 2015).

#### **2.2.2.1. La viabilidad de las semillas**

La viabilidad correspondiente a un grupo de semillas, se denomina a la capacidad de efectuar el proceso germinativo, obteniendo plántulas normales bajo parámetros ambientales normales (Pérez y Pita, 2001). Es la cualidad que tiene toda especie vegetal de obtener una nueva planta. La viabilidad puede variar de acuerdo a la especie puesto que algunos son viables algunos meses y otras se mantienen por muchas décadas. La viabilidad de las semillas se va perdiendo conforme van pasando los meses o años, no de golpe (Horturba, 2016).

Frecuentemente se usa la germinación porcentual mediante un ensayo germinativo (Poulsen, 1993), en términos de agrónomos, la germinación de una semilla se considera cuando al final da una planta adulta capaz de reproducirse; es decir, que puede producir más semillas (Rodríguez et al., 2007).

Una semilla viable está afectada por la base genética de la planta madre, el factor ambiente durante el periodo que florece, desarrollo, formación y madurez de los frutos, el índice de maduración de las semillas y el error humano durante las actividades de cosecha así como el secado de grano (Hartmann y Kester, 1982).

La viabilidad se puede determinar con múltiples análisis, tales como: pruebas germinativas, test del tetrazolio y ensayos con rayos X (Pérez y Pita, 2001).

#### **2.2.2.2. Recolección de las semillas**

La colecta de sus semillas de los árboles forestales es llevada a cabo en individuos considerados como semilleros, las que son identificados y se seleccionan de acuerdo a sus cualidades referentes a la vigorosidad (altura total y diámetro del fuste) y si el fuste es recto o libre de desviaciones, sanidad, tamaño de copa, etc. Determina el índice de maduración por coloración del fruto y semilla que caen al suelo (Wadsworth, 2000).

Las semillas de la especie en estudio no se separan con facilidad del fruto, por lo cual se necesita un proceso de secado para desprenderlos, para ello, los frutos se recolectan 15 o 20 días antes de la dehiscencia natural, cuando la coloración del

fruto es de verde-castaño a leños, luego se almacena en un lugar seco y parcialmente sombreado. Cuando los frutos comienzan a abrir se sacude en un cajón, para que desprendan sus sámaras (Aróstegui, 1982).

#### **2.2.2.3. El tamaño de la semilla**

Las semillas presentan variaciones de tamaño muy impresionantes entre las distintas especies vegetales, a pesar que se esté refiriendo a un órgano de la planta con origen ontogenético constante y funciones bien definidas. Hay alrededor de 11 órdenes de tamaños de diferencias desde la semilla más pequeña hasta la más grande existente en la naturaleza. La semilla que tienen las orquídeas pesan hasta 0,1 miligramos, mientras que las del coco doble del Pacífico pesan hasta 10 kilogramos (Vázquez et al., 1997).

Las plantas tienen recursos limitados para producir semillas, por lo que una cierta cantidad de energía disponible para la producción de semillas se puede convertir en una gran cantidad de semillas pequeñas o en una pequeña cantidad de semillas grandes. La cantidad y escala de producción afectará la viabilidad de la especie (Vázquez et al., 1997).

Los vegetales que se caracterizan de producir abundantes semillas de pequeña dimensión se distribuyen de manera más amplia y es más probable que encuentren sitios favorables para la germinación y el crecimiento; sin embargo, por su pequeño tamaño aporta pocos nutrientes al embrión y recurre a los nutrientes del suelo, quedando frágil y con altas posibilidades de perecer. También son menos resistentes al efecto de la pérdida de hojas de los herbívoros y son aplastados con suma facilidad por las hojas caídas. Si bien esto se ve compensado en cierta medida por los números absolutos, solamente un bajo porcentaje sobrevivió a la totalidad de dichos accidentes (Vázquez et al., 1997).

#### **2.2.2.4. El ensayo de germinación**

Para el ISTA (2005), una prueba o ensayo de germinación permite que se determine el máximo potencial de germinación que posee un grupo de semillas y tiende a que se estime el valor potencial al ser sembrado en terreno definitivo, también para los autores Rodríguez et al. (2007), estas pruebas de germinación realizadas en laboratorio proporcionaron información preliminar sobre la calidad de la semilla. Cabe señalar, sin embargo, que varias ocasiones la información obtenida dentro de los laboratorios tiende a diferir del resultado que se obtiene en terreno definitivo.

En el caso de que una semilla se encuentre viable pero no está latente, tiende a germinar siempre y cuando sea colocada bajo condiciones favorables de los

factores temperatura, humedad e iluminación. Por lo expuesto, se cree que la germinación de un determinado grupo de semillas tiende a reflejar de manera directa la viabilidad que presenta. Cuando se observa que emerge la radícula lo emplean comúnmente con fines de determinar si la semilla germinó, y los valores observados se expresan en términos porcentuales respecto a la cantidad de semillas que germinaron (% vigor) (Pérez y Pita, 2001).

Las pruebas de germinación estándar recopilan el valor porcentual de plántulas que no sean anormales obtenidas después del ensayo de germinación. La prueba reportó el retorno más rápido a la actividad de metabolizar y a crecer que es característico de que una semilla ya haya germinado (Peretti, 1994).

Para Pérez y Pita (2001), al realizar estas pruebas se tienen que colocar al grupo de semillas sobre un medio adecuado que puede ser papel filtro, placas petri o bandejas humedecidas con agua destilada, luego se incuban en una cámara de germinación con temperatura e iluminación controladas, la cual, para Peretti (1994), lo primordial es que a las semillas se coloquen en un medio acorde que se le denominará sustrato, luego se humedecen y se controlan los factores de incubación por periodo de tiempo, en ese periodo se cuentan las semillas a medida que germinen, también Rodríguez et al. (2007), dicen que los ensayo de germinación de un lote se representa principalmente por el porcentaje de semillas que germinan bajo condiciones beneficiosas (porcentaje de germinación).

### **2.2.3. El sustrato y sus propiedades**

Los sustratos pueden o no interferir con los procesos nutricionales de las plantas que se cultivan en el (Quiroz et al., 2009).

Los sustratos poseen la función de almacenar agua, de intercambiar gases, de almacenar nutrientes y permite que las plántulas se anclen en el contenedor y permanezcan erguidas. El soporte que da el sustrato se basa a su densidad y rigidez (Landis et al., 1990).

#### **2.2.3.1. Propiedades físicas**

Las características físicas que presentan un sustrato adquieren relevancia debido que ayuda en la formación y crecimiento del vegetal, en la determinación de la disponibilidad de oxígeno, flujo hídrico y ayuda a la raíz a conocer su alcance en el sustrato (Quiroz et al., 2009). Los sustratos en alcanzan una habilidad singular, pues una vez agregado en su contenedor, las propiedades físicas presentes no son fáciles de modificar (Pastor, 1999).

Los sustratos poseen las siguientes propiedades físicas: porosidad, textura, densidad aparente, capacidad de retener agua, estabilidad estructural, etc.

La porosidad es muy importante en un sustrato debido que permite que la raíz de una planta obtenga el oxígeno suficiente, puesto que menor a 12% de contenido de oxígeno ocasiona la obstrucción del crecimiento radical (Landis et al., 1990).

La relación entre el agua y aire en un sustrato son el resultado directo de la densidad, tamaño y forma del poro, este a su vez afecta ya sea positivamente o negativamente la capacidad hídrica del sustrato, y con ello el manejo hídrico en el riego a gran escala (Terés, 2001). Terés y Beunza (1997) añaden que, si una planta encuentra baja la disponibilidad hídrica, presentará dificultades para su respectiva absorción y en consecuencia afectará el crecimiento de la misma.

#### **2.2.3.2. Propiedades químicas**

Las propiedades químicas afectan la disponibilidad nutritiva, hídrica y demás compuestos orgánicos (Quiroz et al., 2009); puesto que, regulan la nutrición por medio de su capacidad de intercambiar cationes (CIC), que esto también depende enormemente de la cantidad de puentes de hidrógenos (acidez o alcalinidad) que poseen los sustratos (Ansorena, citado por Littleton, 2000). Las características químicas más importantes de los sustratos son: la acidez o alcalinidad (pH), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Relación Carbono/Nitrógeno. La fertilidad entonces es influenciada por cuántos nutrientes posee los sustratos, siendo las más utilizadas y de importancia el nitrógeno, potasio y fósforo.

Uno de las propiedades más importantes para la fertilidad de los sustratos es la capacidad de intercambiar cationes (CIC) definido como la capacidad que posee un medio para que adsorba cationes o iones con carga positiva (Quiroz et al, 2009). Consecuente de otra propiedad química que es el pH, puesto que ayuda en la disponibilidad nutritiva en la adsorción radicular.

Dentro de la producción masiva de plantones en viveros e invernaderos es recomendable manejar un pH constante, que puede ser de 5,5 a 6,5 o también llamado ligeramente ácido (Landis et al., 1990).

Por lo anterior, si un sustrato suele ser demasiado ácido en donde el nivel del pH está por debajo de 5,0 o un sustrato alcalino en donde el nivel de pH sea superior a 7,5, ocasiona, que aparezcan síntomas por carencia nutritiva, pero no por la escasa cantidad en dicho sustrato sino por encontrarse bajo diferentes formas químicas que no es disponible para su adsorción (Valenzuela y Gallardo, 2005).

#### **2.2.3.3. Propiedades biológicas**

Esta propiedad evalúa la estabilidad biológica del sustrato, además de la existencia de elementos que actuarían en estimular o inhibir el crecimiento de

las plantas, muchos de los cuales viven en armonía de simbiosis con el hospedero (Terés, 2001).

Entre las propiedades biológicas se encuentra la velocidad con que se descompone el material, en esto se encuentran enmarcados los sustratos de origen orgánicos, debido a que se caracterizan por ser susceptible a que se degraden biológicamente a través de los diferentes microorganismos.

#### **2.2.4. El vigor de la semilla**

Cuando se tiene un grupo de semillas, el vigor está representado por el conjunto de características que van a determinar el grado de actividad y la capacidad de la semilla al germinar y posteriormente emerger la plántula. La semilla que tiene buen comportamiento es denominada como semilla vigorosa (Perez y Pita, 2001). El vigor de la semilla no refiere a una sola característica que se mide, por el contrario, es un concepto que va describir varias cualidades que indicaran el nivel de actividad y la manera como se comporta en diversas condiciones ambientales.

Esas cualidades se asocian a varios aspectos del comportamiento de los grupos de semillas como son:

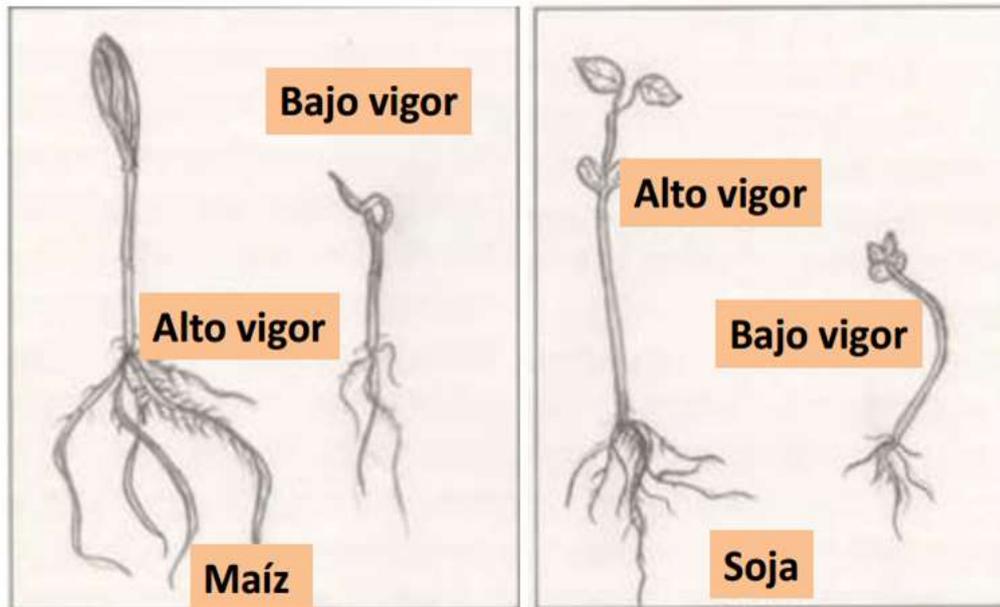
- Rapidez y uniformidad de que germinan las semillas y que crezcan las plántulas.
- La capacidad que va tener para emerger en situaciones desfavorables del ambiente.
- Cómo se comporta luego de que se almacena la semilla, en especial su habilidad para que mantenga su capacidad de germinar.

El vigor en la semilla refleja la sumatoria de todas las propiedades determinantes del grado de actividad y la manera como se desempeña la semilla o grupo de semillas al germinar y emerger las plántulas. La semilla que tiene buen desempeño es considerada de alto vigor y los que no se las nomina como semilla de bajo vigor (Poulsen, 1993) (Figura 1).

Para Besnier (1990), el vigor es la suma total de todos los atributos de la semilla que favorecen el establecimiento rápido y uniforme de plántulas en el campo. ILBI et al. (2009) añaden que, la evaluación del vigor se ha presentado como una alternativa en diferentes especies, particularmente cuando se utilizan pruebas en las que se trata de simular el agobio al que pueden someterse las semillas, antes o durante su germinación.

Un lote de semillas vigoroso es aquel cuyo comportamiento potencial es dable esperar sea bueno aún bajo condiciones de ambiente sub-óptimas para las especies. Las

pérdidas de vigor están relacionadas con la reducción de la habilidad que tienen las semillas para llevar a cabo todas las funciones fisiológicas que les permiten germinar y emerger (Besnier, 1990).



**Figura 1.** Evaluación visual del vigor de semillas (ISTA, 2005).

Este proceso denominado envejecimiento fisiológico o deterioro de las semillas se inicia inmediatamente después de la madurez fisiológica y prosigue mientras las semillas se encuentran en la planta antes de ser cosechas, durante la misma, en el procesamiento y al almacenarlas.

Tanto la intensidad como la velocidad del proceso de deterioro depende de factores genéticos y ambientales y está muy asociado con los cuidados en el manejo de los lotes de las semillas. La pérdida de vigor ocurre antes de la germinación, de modo que lotes con germinación semejante pueden diferir en cuanto a los niveles de deterioro y por lo tanto en el vigor, en su potencial de comportamiento a campo y en el almacenamiento.

Se considera que cuanto más próximo a la madurez fisiológica (o sea más distante de perder el poder germinativo) esté el parámetro a evaluar, mayor sensibilidad presentará el análisis. El primer evento del proceso de deterioro es el cambio en la integridad de las membranas celulares (que se degraden las membranas), proseguida por una reducción de la actividad enzimática y síntesis de proteínas, por lo tanto, los test que evalúan la integridad de las membranas serían los más sensitivos para estimar el vigor (Test de Conductividad eléctrica).

Según Perez y Pita (2001), dado que un lote de semillas de alto vigor producirá más plántulas normales y con tasas elevadas de crecimiento, los ensayos que se utilizan para evaluar el vigor de las semillas consideran el número y las características de las plántulas obtenidas, como son su apariencia, malformaciones y velocidad de crecimiento. Entre los ensayos de vigor utilizados más frecuentemente se pueden describir los siguientes:

- Ensayos de crecimiento y evaluación de plántulas.
- Ensayos de frío.
- Ensayos con la conductividad eléctrica.
- Ensayos para envejecer aceleradamente.

#### **2.2.5. Prueba de vigor de la semilla**

Castillo et al. (2010) señalan que las vidas de las nuevas plántulas se inician con el proceso de germinación, el cual se lleva a cabo cuando las semillas no se encuentran en letargo y tienen un embrión vivo no quiescente, capaz de producir una nueva planta. Y que requieren según Herrera et al. (2000) la elección de un sustrato que esté directamente relacionado con su crecimiento, vigor, producción de materia seca y supervivencia de la especie. Para luego sean llevadas a un proceso de germinación como lo señala Maldonado (2010), el cual es un conjunto de instalaciones que tiene como propósito fundamental la producción de plantas de calidad, es decir sanas y fuertes.

No tiene sentido que se diferencie el nivel de vigor de lotes con diferencias marcadas de germinación, debido a que al analizarlas bajo condiciones óptimas ambientales tiende a detectar diferencias en la calidad fisiológica, con esta aclaración se concluiría que el análisis de vigor no contribuye en mayor medida a dicha información. Razón por lo expuesto, desde una perspectiva práctica no es adecuado conocer el vigor de las semillas con germinación inferior al límite que se requiere para su comercialización, debido a que su baja calidad fisiológica ya se detectó al realizar el ensayo de germinación donde se puede conocer el porcentaje y la energía germinativa.

La prueba del vigor tiende a apuntar de manera directa o indirecta al comportamiento potencial en cada lote de semillas en un amplio rango de medios y da una diferenciación más sensible entre grupos de semillas de aceptable germinación de la que hace el ensayo de germinación. El ensayo de vigor otorga:

- Un índice de mayor sensibilidad respecto a la calidad de las semillas al compararlas con el análisis patrón de germinación.

- Una categoría adecuada de grupos de semillas de aceptable germinación enfocada a la calidad potencial fisiológica y física.
- Reporte del potencial de almacenamiento y emergencia de grupos de semillas con fines de que se planifique tácticas de marketing.

#### **2.2.5.1. Prueba en frío**

La base teórica de este ensayo es que en un medio frío y de elevada humedad edáfica se tiende a retardar las actividades dentro de las semillas y también de los microorganismos en dicho medio edáfico; pero, debido a que la semilla está en desventaja un poco mayor, es más susceptible a que los microorganismos le ataquen y ocasionen que se pudra. La semilla de mayor vigor produce una plántula con capacidad de que resista el ataque de los microorganismos en mayor medida al comparar con una semilla débil (Besnier, 1990).

Su evaluación del vigor se realiza de manera indirecta, por medio de la influencia que poseen las semillas al tratarlas con temperaturas bajas sobre lo que las plántulas van a crecer y desarrollar. El tratamiento consiste en someter a las semillas por siete días sin luz, con 10 °C de temperatura y con 95% de humedad relativa, que se incuban luego con luz y a 25 °C. Las plántulas obtenidas son evaluadas cuando presentan alrededor de tres hojas y con 20 cm de sistema radicular (Perez y Pita, 2001).

Es una técnica que se caracteriza por que estima la emergencia bajo la situación de baja temperatura y elevada humedad en la cama de almácigo tienden a ser los que limitan que germine y emerja de manera rápida y uniforme. La prueba en laboratorio es llevada a cabo empleando 10 °C de temperatura por un periodo de estrés de siete días y emplean varios medios para que crezcan como mezclar suelo con arena o solamente arena. El medio debe presentar la humedad entre los 70% hasta 80% de su capacidad de retener agua, para que provoque el efecto perjudicial lo que ocasionaría que en las semillas se embeban sus tejidos con el líquido frío. A la actividad de estrés inicial se prosigue con una prueba patrón de germinación sometidos a 25° C por un periodo de 5 a 6 días, luego se las categorizarán a las plántulas en anormales y normales con la cual culminará dicho análisis. El valor final del ensayo se representa en porcentajes de plántulas normales y el grupo de semillas con mayor vigorosidad estará representado por el mayor porcentaje de germinación (Craviotto et al., 2010).

#### **2.2.5.2. Pruebas de envejecimiento acelerado**

Referida a la prueba de vigor de las semillas y consiste en que se sometan a situaciones de elevada temperatura entre los 40 °C hasta los 45 °C y elevado

nivel de humedad relativa que por lo general es al 100 % por un periodo de 10 días seguidos del ensayo de germinación patrón (Rodríguez, 1989).

El envejecimiento acelerado de una semilla es obtenido al someterla a situaciones donde se producirá el deterioro de manera rápida: temperatura elevada (40 - 45 °C) por tiempos variables de acuerdo a la especie (48 a prueba de envejecimiento acelerado) y elevado grado de humedad en el ambiente. Luego del tratamiento, es evaluada su capacidad de germinar la semilla, en donde se considera como de mayor vigor a la semilla capaz de que produzca una plántula normal (Perez y Pita, 2001).

A las semillas se las somete a situaciones desfavorables de humedad relativa y temperatura, razón por el cual tienden a sufrir un estrés fuerte al encontrarse ubicadas en una sola capa sobre una cesta cribada dispuesta sobre soportes en una minicámara o caja plástica con agua dentro de dicho medio, además, hay un 95% de humedad relativa y elevada temperatura.

Debido a que va haber lenta hidratación y su actividad respiratoria elevada que serán provocadas por la elevada temperatura originan un proceso de envejecer de manera acelerada de dichas semillas; posterior a las 48 horas de este estrés, se tiene que realizar la prueba de germinación bajo situaciones normales, obteniéndose plántulas anormales, normales, semillas muertas, semillas frescas y semillas duras. Como resultado del ensayo se obtiene valores porcentuales de plántulas normales y en el caso de ser elevado el monto se concluye que el lote muestreado posee semillas de alto vigor (Craviotto et al., 2010).

#### **2.2.6. El crecimiento de las plantas**

Tanto el crecimiento, desarrollo, aumento de biomasa y productividad de las plantas tienen dependencia en su capacidad del metabolizar y su fisiología con fines de que se adapte y aclimate a situaciones del ambiente que se encuentran muy cambiantes en el tiempo. Los factores medioambientales se perciben los diferentes órganos del vegetal, siendo transmitida internamente dicha información por medio de la modulación de la síntesis de señales, por lo general lo realizan las hormonas, que tienden a activar la respuesta de desarrollo y crecimiento de la planta (Talón et al., Zeevart et al., citados por Monteliu, 2010).

Hay una dependencia de responder por parte de las plantas a los cambios medioambientales y tiende a variar por genotipo y el grado de desarrollo, el periodo y lo severo que resulta ser el estrés, así como las condiciones del ambiente que lo provocaron. Al activarse las respuestas, se observa que el crecimiento se limita en base al aporte nutrimental, de los minerales y los distintos carbohidratos (Gillips et al., citados por Monteliu, 2010).

El vegetal tiene la capacidad de que, al normalizarse la condición ambiental, se reprima las respuestas de crecer e inclusive posterior de que se haya iniciado el periodo de desarrollo, y haya desencadenado estrategias de protección y desarrollo y aseguran la supervivencia en condiciones ambientales adversas (Monteliu, 2010).

#### **2.2.6.1. Prueba del crecimiento y evaluación de plántulas**

Dichos ensayos miden las dimensiones morfológicas de las plántulas en un periodo de su desarrollo, razón por la cual, es apropiado para las especies que poseen un tallo estrecho y recto (Pérez y Pita, 2001). Medir el vigor a través de las plántulas es de suma importancia para que se logre de manera rápida y eficiente que se establezca una plantación. Una plántula con elevado vigor en varias especies se encuentra asociado de manera directa con el peso o tamaño de la semilla (Covas, 1980).

El ensayo se utiliza como una prueba de vigor enfocada en evaluar las plántulas que se obtuvieron en la prueba en términos comparativos del desarrollo de las diferentes estructuras al final del periodo de ensayo (8 días) o bien en periodos anticipados (4-5 días). Dicha prueba ayuda que se observe directamente y cuantifique a las plántulas que evolucionaron con características intactas y en equilibrio y también de manera paralela cuantifica a plántulas defectuosas agrupándolas en individuos de bajo vigor (Craviotto et al., 2010). El vigor es medido por medio de la biomasa aérea, la longitud del coleóptilo, dimensiones de la primera hoja y el diámetro del tallo (Ruiz et al., 1993).

### **2.3. Definiciones conceptuales**

#### **2.3.1. Coeficiente de variación**

No es posible comparar con facilidad las desviaciones estándar de diferentes poblaciones o muestras, siendo esto tanto más difícil, si difieren por su naturaleza y la unidad de medida empleada (alturas, pesos, porcentajes, etc.). Es por esto, para fines comparativos, se acostumbra a expresar la desviación estándar en porcentajes de sus respectivos promedios. Este coeficiente posee utilidad cuando se desea comparar variabilidades de diferentes poblaciones o muestras. En experimentos de rendimientos agronómicos y ganaderos el coeficiente de variación varían por lo general entre 9% a 29%, valores que exceden a estos límites se pueden considerar como extremos (Calzada, 1970).

#### **2.3.2. Semilla**

Es el órgano reproductor principal para casi todos los vegetales acuáticos y terrestres superiores. Desempeña un rol primordial en renovar, persistir y dispersar la población vegetal, la regeneración de árboles y la sucesión ecológica. En un ecosistema, la semilla es una fuente alimenticia básica tanto para mamíferos y aves. Por medio de la

producción, la semilla es esencial para las personas y se utilizan como alimento para una variedad de animales domésticos (Vázquez et al., 1997).

### **2.3.3. Sustrato**

El término sustrato se refiere a cualquier material natural, sólido, sintético o residual, orgánico o mineral, diferente del suelo in situ, que se coloca dentro de un recipiente, ya sea pura o bajo una mezcla, permitiendo que las raíces se anclen y actúen, así como soporte para el vegetal (Abad y Noguera, citados por Terés, 2001).

### **2.3.4. Vigor**

El vigor se puede definir como el potencial o capacidad de la semilla durante la germinación y emergencia de la plántula. Las semillas de alto vigor se conservan más tiempo, germinan más rápido y resisten condiciones adversas de germinación (Rodríguez et al., 2007).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

##### 3.1.1. Ubicación política

El estudio fue ejecutado en la segunda planta del Laboratorio de Certificación de Semillas de la Escuela Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables adjunta a la universidad pública Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), dicha institución se enmarca políticamente al distrito Rupa Rupa, provincia Leoncio Prado en la región de Huánuco.

##### 3.1.2. Ubicación geográfica

El laboratorio se localiza geográficamente en las coordenadas UTM siguientes: 390313 m Este, 8970772 m Norte y a un piso altitudinal de 660 msnm.

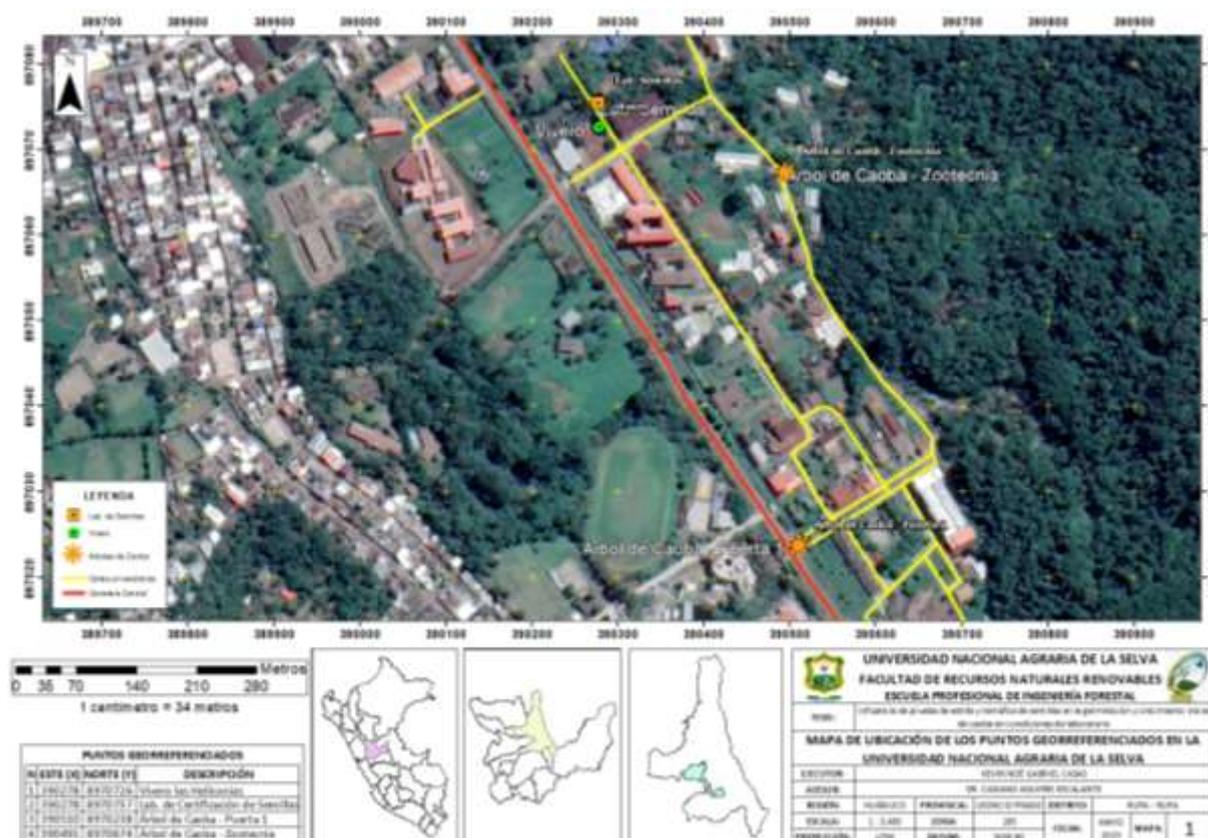


Figura 2. Mapa de ubicación del vivero y los árboles semilleros de *S. macrophylla*.

##### 3.1.3. Clima

Los valores de los parámetros climáticos en dicho lugar emitidos por parte de la Estación Meteorológica de la UNAS, registró que el valor máximo de temperatura

fue 30,05 °C, el valor mínimo fue 20,7 °C, y el valor promedio alcanzó los 25,6 °C; en el caso de la cantidad de lluvias acumuladas por un periodo de un año, se registró un monto de 3 758 mm y el medio resulta ser muy húmedo por reportar un 84,0% de humedad relativa.

#### **3.1.4. Zona de vida**

Tomando en cuenta lo categorizado por Holdridge (1987) en donde clasificó las zonas de vida mediante el diagrama bioclimático, el distrito donde se desarrolló el estudio se ubica en la categoría de bosque muy húmedo Tropical cuya sigla es bmh – T, mientras que al emplear otra clasificación elaborada por Pulgar (1938), se tiene la clasificación de que el estudio se realizó en selva alta o Rupa Rupa.

### **3.2. Materiales**

#### **3.2.1. Material biológico**

Los simientes o semillas de *S. macrophylla* fueron recolectados del campus de la UNAS identificado por las coordenadas UTM: 390510 m Este, 8970238 m Norte y a una altitud de 689 msnm.

#### **3.2.2. Materiales y equipos**

Fue utilizado baldes, vernier digital, táper de plástico, balanza digital, conservadora, estufa, refrigeradora y un termohigrómetro.

#### **3.2.3. Insumos**

Se utilizó aserrín que ya se encontraba descompuesto y fue empleado como sustrato para la germinación de las semillas y el sustrato conformado por aserrín más arena más arcilla empleado para el crecimiento de plántulas y el fungicida Benomil al 5%.

### **3.3. Características del estudio**

#### **3.3.1. Tipo de investigación**

Corresponde a una investigación aplicada (Ñaupas et al., 2014) debido a que estuvo orientada a resolver problemas de manera objetiva correspondiente a la mejora del porcentaje y crecimiento inicial de las plántulas de *S. macrophylla*.

#### **3.3.2. Enfoque de investigación**

Se caracteriza por ser una investigación con enfoque cuantitativo (Hernández et al., 2014) debido a que se ha medido a los fenómenos como el comportamiento de la germinación de las semillas y el crecimiento inicial de las plántulas, además, se hizo uso de la estadística para alcanzar los objetivos planteados.

#### **3.3.3. Diseño de investigación**

La investigación se realizó prosiguiendo el diseño experimental de tipo experimento puro (Hernández et al., 2014), debido a que se realizó una manipulación

intencional de las variables independientes, luego se realizó las mediciones de las variables dependientes; además, se contó con más de dos tratamientos en estudio que se sometieron a compararlas y finalmente los tratamientos a las semillas fueron asignados al azar.

### 3.3.4. Nivel de investigación

El nivel de investigación proseguido fue correlacional-causal (Hernández et al., 2014), debido a que se analizó relaciones causales entre las variables independientes con los dependientes, además se tuvieron que realizar los respectivos planteamientos de las hipótesis causales.

## 3.4. Metodología

Se prosiguió la técnica llevada a cabo por Castre (2018) con algunas modificaciones correspondientes a las pruebas de estrés y en el caso de Verde (2014) sirvió para que se categoricen los tamaños de las semillas para la especie en estudio.

### 3.4.1. Determinación del tiempo de germinación, poder y energía germinativa de distintos tamaños de semillas de *S. macrophylla* en diferentes pruebas de estrés en laboratorio

El estudio fue dividido en tres etapas: Etapa de planificación, etapa de instalación y etapa de evaluación.

#### 3.4.1.1. Etapa de planificación

Para llevar a cabo el estudio se ha tenido que realizar las coordinaciones para tener acceso a las instalaciones del Laboratorio de Certificación de Semillas y al Vivero Forestal, para ello, se conversó verbalmente con el jefe del laboratorio y el técnico a cargo del vivero quienes autorizaron el acceso a los ambientes para los ensayos de germinación y el crecimiento de los plántones respectivamente; además se realizó las coordinaciones para obtener las semillas que provenían del campus de la UNAS.

En el estudio se utilizó dos factores en estudio, siendo estos:

**Prueba de estrés (factor A)**, conteniendo como niveles a:

- $a_1$  = Testigo = Sin prueba de estrés
- $a_2$  = Prueba en frío
- $a_3$  = Prueba de envejecimiento acelerado

**Tamaño de semilla (factor B)**, contiene niveles (Figura 3):

- $b_1$  = Pequeño cuya dimensión fue de 6,0 a 7,6 cm
- $b_2$  = Mediano cuya dimensión fue de 7,6 - 9,1 cm
- $b_3$  = Grande cuya dimensión fue de 9,2 a 10,7 cm

Al combinar los niveles de los dos factores en estudio se generó los nueve tratamientos (Tabla 1).

**Tabla 1.** Tratamientos y/o combinaciones en estudio.

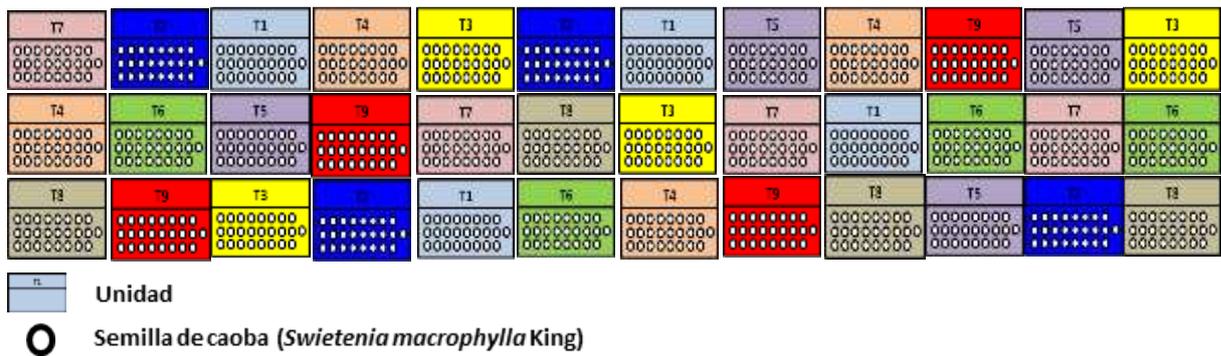
Trat.	Combinaciones	Detalle de los tratamientos
T <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	Semilla pequeña de <i>S. macrophylla</i> sembrada sin prueba de estrés
T <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	Semilla mediana de <i>S. macrophylla</i> sembrada sin prueba de estrés
T <sub>3</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	Semilla grande de <i>S. macrophylla</i> sembrada sin prueba de estrés
T <sub>4</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	Semilla pequeña de <i>S. macrophylla</i> sembrada con prueba de frío
T <sub>5</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	Semilla mediana de <i>S. macrophylla</i> sembrada con prueba de frío
T <sub>6</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	Semilla grande de <i>S. macrophylla</i> sembrada con prueba de frío
T <sub>7</sub>	a <sub>3</sub> b <sub>1</sub>	Semilla pequeña de <i>S. macrophylla</i> sembrada con prueba de EA
T <sub>8</sub>	a <sub>3</sub> b <sub>2</sub>	Semilla mediana de <i>S. macrophylla</i> sembrada con prueba de EA
T <sub>9</sub>	a <sub>3</sub> b <sub>3</sub>	Semilla grande de <i>S. macrophylla</i> sembrada con prueba de EA

T: tratamiento; EA: envejecimiento acelerado; a: factor A; b: Factor B.



**Figura 3.** Semillas de tamaños pequeños, medianas, grandes y cámara conservadora a 10,2°C.

**Diseño del estudio.** Una vez determinados los tratamientos y contando con un medio donde no se manifestaban cambios bruscos de temperatura y humedad como es el ambiente del Laboratorio de Semillas, se optó por emplear el diseño completo al azar (DCA) con arreglo factorial de la forma 3A x 3B, con cuatro repeticiones por tratamiento, 36 unidades experimentales y 100 semillas por tratamiento. Además, para cumplir con el diseño fueron ordenados al aleatoriamente para que todos los tratamientos puedan tener las mismas condiciones (Figura 4).



**Figura 4.** Diseño del experimento.

**Modelo aditivo lineal.** La variable dependiente correspondiente a la germinación de las semillas y el crecimiento inicial de los plantones de la especie en estudio estuvieron determinadas mediante los efectos que consigna la siguiente expresión matemática de la forma:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta) + E_{ijk}$$

Siendo:

- Y<sub>ijk</sub> = Variable respuesta.
- μ = Efecto de la media general.
- α<sub>i</sub> = Efecto de la prueba de estrés.
- β<sub>j</sub> = Efecto del tamaño de semilla.
- (αβ) = Efecto de la interacción de ambos factores.
- E<sub>ijk</sub> = Error del experimento.

**Análisis de la varianza.** Para el análisis de los datos obtenidos con fines de que se contraste la hipótesis planteada, se recurrió al uso de una herramienta estadística como es el análisis de la varianza llevadas a cabo a un nivel de significancia de 5% (α=0,05) y en el caso de que se registró diferencias estadísticas significativas se optó por emplear la prueba de Tuckey con fines de comparar los promedios de cada tratamiento en estudio (Tabla 2).

**Tabla 2.** Esquema de análisis de la varianza.

Fuentes de variaciones	GL	SC	CM	Fc
Prueba de estrés	$a - 1$	$SC_A$	$SC_A / a - 1$	$CM_A / CM_E$
Tamaño de semilla.	$b - 1$	$SC_B$	$SC_B / b - 1$	$CM_B / CM_E$
Interacción	$(a - 1) * (b - 1)$	$SC_{AB}$	$SC_{AB} / (a - 1) (b - 1)$	$CM_{AB} / CM_E$
Error	$a * b * (n - 1)$	$SC_E$	$SC_E / GL_E$	
Total	$abn - 1$	$SC_{Total}$		

a y b: niveles de cada factor en estudio; n: cantidad de repetición; GL = Grados de libertad; SC = Sumas de cuadrados

CM = Cuadrados medios; Fc = F calculado

**Unidad experimental.** El estudio estuvo conformado por nueve tratamientos y cuatro repeticiones que hace en total 36 unidades experimentales que conformaron la parcela experimental; una unidad experimental o repetición se estableció en un envase de plástico en donde se colocó a 25 semillas de caoba o también denominados como 25 sub-unidades experimentales con su respectiva prueba de estrés, consideraciones adoptadas al proseguir el protocolo empleado por el ISTA (2002) con algunas modificaciones

#### 3.4.1.2. Etapa de instalación

Las acciones realizadas consistieron en lo siguiente:

**Recolección de frutos y semillas.** Se recolectó los frutos de *S. macrophylla*, luego secado a temperatura ambiente por 7 días, luego se almacenó en cámara de conservación a una temperatura de 10 °C por un periodo de tres días hasta la siembra.

**Acondicionamiento del área.** El ambiente escogido en el Laboratorio de Certificación de Semillas se caracterizaba por presentar el ingreso de la iluminación solar, con circulación de aire y libre de objetos extraños, posteriormente se instaló un ambiente con malla Raschel de color verde para garantizar que no afecte la intensidad de luz a las platas. Luego se instaló una base para las platas dividido en 3 partes de acuerdo al diseño del experimento.

**Prueba en frío.** Para la prueba en frío, las semillas fueron colocados en un recipiente hermético y se las sometieron por un periodo de siete días a la ausencia de luz más condiciones como una temperatura de 10 °C y una humedad relativa del 95%, esto fue logrado en una cámara conservadora.

**Prueba de envejecimiento acelerado.** Para la prueba de envejecimiento acelerado, las semillas se pusieron en recipientes de plástico herméticamente

tapado con malla en su interior para sostener las semillas, además de 200 ml de agua destilada para generar humedad, luego estuvieron durante prueba de envejecimiento acelerado que consistió en colocar en una estufa donde el medio fue oscuro a una temperatura de 40 °C con una humedad relativa del 100% por un periodo de tres días (Figura 5). Posteriormente se sembraron 25 semillas en un envase de plástico contenido de sustrato, siendo ordenado respecto a lo descrito en el protocolo establecido por el ISTA (2002), siendo distribuido bajo el diseño completo al azar el experimento.



**Figura 5.** Prueba de envejecimiento acelerado.

**Ensayo de germinación.** Se procedió a agrupar a las semillas de caoba por categorías de tamaños que lo conformaron los de dimensiones pequeños, medianos y grandes; paralelo a esta actividad también se realizó la separación de semillas que presentaban algún defecto como es el caso de la observación de alguna enfermedad, semillas vanas y/o desechos, culminado dicha acción, se procedió a sembrarlas en cada envase con sustrato empleando un grupo contenida de 25 semillas y su respectiva prueba de estrés, siendo ordenados en base a lo que recomienda el ISTA (2002), siendo distribuido de acuerdo al diseño del experimento. La cantidad de 25 semillas se determinó debido a la dimensión del envase de plástico ya que para Bonner (1974), en el caso de que no se pueda emplear grupos de 100 semillas debido al tamaño de área del sustrato, se puede optar utilizar menores cantidades como 50 o 25 semillas.

#### **3.4.1.3. Etapa de evaluación**

Se realizó tres evaluaciones, para la germinación durante la misma en el tiempo de germinación, y para la medición de longitudes y pesos dos veces por

periodos quincenales; además de lo expresado, se realizó monitoreo permanente respecto a la presencia de alguna plaga y/o enfermedad que pudieran generar alteraciones del resultado en el estudio. El efecto de los factores en estudio fue medido en el periodo del tiempo que transcurrió la germinación, la engería germinativa y el poder germinativo; además de las cualidades morfológicas de los plantones conformados de indicadores como la longitud del tallo principal, longitud de la raíz y la biomasa total.

**Tiempo de germinación (TG).** Se ha tenido que registrar el tiempo transcurrido en días desde el día siguiente de haber realizado el almacigado, esto conllevó a realizar de manera diaria observaciones minuciosas de que, si una semilla germinó o aún le faltaba tiempo para germinar, las fórmulas consideradas fueron las siguientes:

$$TG = \text{Periodo entre el IS (inicio de siembra) y FG (final de la germinación)}$$

$$TG = IG (\text{inicio de germinación}) + PG (\text{periodo de germinación})$$

**Poder y energía germinativa.** Para alcanzar a calcular estas variables, se procedió a realizar visitas diarias a lo almacigado, luego se verificaba desde el inicio de la bandeja hasta el final de la bandeja la presencia de semillas germinadas que por lo general se consideró cuando existía la presencia de la yema nueva de la plántula, luego se la registraba en una ficha de registros de datos, esta acción se volvía a realizar al día siguiente pero ya no se contaba la plántula registrada anteriormente y solamente se incluía en la ficha la nueva plántula en caso de existir, proceso considerado en lo propuesto por el ISTA (2002).

La fórmula empleada para determinar el poder germinativo fue:

$$PG = \frac{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas}}{N^{\circ} \text{ Total de semillas sembradas}} \times 100$$

En el caso de querer determinar la energía germinativa del total de semillas viables por cada tratamiento se utilizó la siguiente expresión matemática:

$$EG = \frac{\text{Semillas germinadas hasta el máximo de germinación diaria media}}{\text{Total de semillas germinadas}} \times 100$$

### 3.4.2. Evaluación del crecimiento inicial de *S. macrophylla* en distintos tamaños de semilla y pruebas de estrés en laboratorio

#### 3.4.2.1. Altura o longitud de la parte aérea

Con fines de obtener el valor de esta variable, se procedió a medir la dimensión desde el nivel del cuello del plantón hasta la parte apical del mismo al

30% de los individuos contenidos en cada repetición, la unidad de medida utilizada fue en centímetros.

#### **3.4.2.2. Longitud del sistema radicular (LR)**

Se procedió a escoger el 30% de los plántones de manera aleatoria a los cuales se procedió a separar el sustrato del sistema radicular sin ocasionarle daños a la raíz con fines de que se obtenga el sistema radicular completo, luego se lavó la raíz y se extendió para que posteriormente empleando una regla graduada se midió la dimensión que alcanzaba desde el cuello del tallo hasta la zona terminal de la raíz más larga, siendo la unidad de medida utilizada el centímetro.

#### **3.4.2.3. Biomasa o peso seco (PS)**

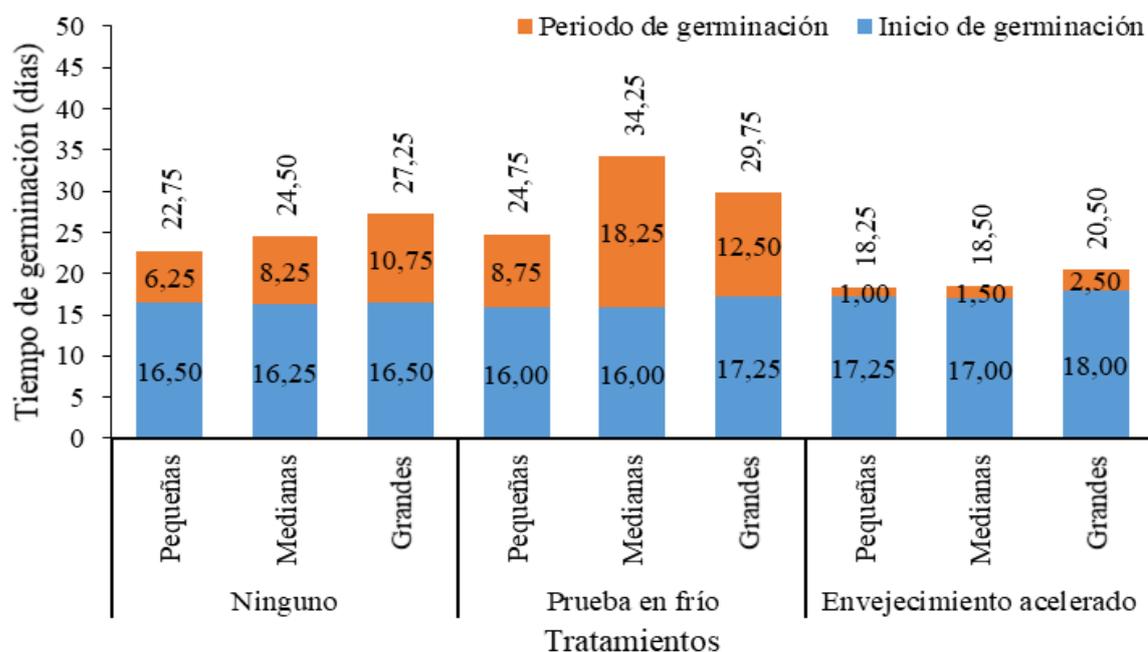
Se utilizó los mismos individuos a los que se le midieron el sistema radicular, a estos le colocaron en bolsas de papel y fueron rotuladas para que posteriormente se las colocaría dentro de una estufa sometida a unos 103 °C por un periodo de 72 h en donde ya se registra peso constante, luego de pasado dicho tiempo, se procedió a apagar la estufa, extraer las muestras y finalmente colocarlas en una balanza de precisión con aproximación a centésimas de gramos en donde se obtendría el valor del peso seco.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Tiempo de germinación, poder germinativo y energía germinativa de diferentes tamaños de semilla de *S. macrophylla* en pruebas de estrés

#### 4.1.1. Tiempo de germinación en semillas de *S. macrophylla*

Las semillas de tamaño medianas que fueron sometidas a la prueba de frío fueron las que registraron mayor tiempo de germinación, siendo la media de 34,25 días desde que se almacenó, mientras que la situación opuesta se observó en las semillas de tamaño pequeñas que se sometieron al envejecimiento acelerado por registrar una media de 18,25 días a pesar de contar con solo un día de periodo de germinación (Figura 6).



T<sub>1</sub>: Semilla pequeña sin estrés; T<sub>2</sub>: Semilla mediana sin estrés; T<sub>3</sub>: Semilla grande sin estrés; T<sub>4</sub>: Semilla pequeña con prueba de frío; T<sub>5</sub>: Semilla mediana con prueba de frío; T<sub>6</sub>: Semilla grande con prueba de frío; T<sub>7</sub>: Semilla pequeña con prueba de envejecimiento acelerado; T<sub>8</sub>: Semilla mediana con prueba de envejecimiento acelerado; T<sub>9</sub>: Semilla grande con prueba de envejecimiento acelerado

**Figura 6.** Tiempo de germinación en semillas de *S. macrophylla* sometidas a tratamientos.

El inicio de la germinación de las semillas fue afectado por la prueba de estrés a las que se sometieron, de manera similar esta variable es afectada significativamente por las dimensiones de las semillas que se utiliza de la especie en estudio. Además, no se encontró interacción significativa entre ambos factores estudiados y también los datos registrados presentaron alta homogeneidad de acuerdo al coeficiente de variación (Tabla 3).

**Tabla 3.** Análisis de la varianza para el inicio de germinación en *S. macrophylla* por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas.

Fuentes de variaciones	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Prueba de estrés	8,000	2	4,000	5,918	0,007*
Tamaño de semillas	4,667	2	2,333	3,452	0,046*
Prueba de estrés * Tamaño de semillas	1,833	4	0,458	0,678	0,613 <sup>ns</sup>
Error del experimento	18,250	27	0,676		
<b>Total</b>	<b>32,750</b>	<b>35</b>			

Coefficiente de variación: 4,91%; SC: Sumas de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrados medio.

\*Diferencias estadísticas significativas; ns: Ausencia de diferencias estadísticas significativas.

Emplear semillas de *S. macrophylla* que no son sometidas a estrés y también las que se someten a un estrés en frío presentaron menores periodos de tiempo para que inicie la germinación de las semillas, mientras que en el caso de las semillas sometidas al envejecimiento acelerado se observó periodo más prolongado para que inicie a germinar las semillas (Tabla 4).

**Tabla 4.** Comparación de medias (Tukey) para el inicio de germinación en *S. macrophylla* por efectos de la prueba de estrés.

OM	Prueba de estrés	N	Media (días)	Subconjunto
1	Ninguno	12	16,42	a
2	Frío	12	16,42	a
3	Envejecimiento acelerado	12	17,42	b

Letras diferentes indican diferencias estadísticas.

Las semillas de tamaños medianas son las que necesitan menor cantidad de tiempo para que inicie a germinar, muy por lo contrario, ocurre en las grandes (Tabla 5).

**Tabla 5.** Comparación de medias (Tukey) para el inicio de germinación en *S. macrophylla* por efectos de los tamaños de las semillas.

OM	Tamaño de semilla	N	Media (días)	Subconjunto
1	Medianas	12	16,42	a
2	Pequeñas	12	16,58	ab
3	Grandes	12	17,25	b

Letras diferentes indican diferencias estadísticas.

Para el caso del periodo de germinación, el análisis de la varianza determinó que solamente las pruebas de estrés registraron diferencias estadísticas significativas para la variable indicada, siendo notorio la carencia de significancia en el factor tamaños de semillas, así como no hubo interacción entre ambos factores estudiados. En el caso del coeficiente de variación, se registra heterogeneidad de los resultados debido a que en algunos tratamientos los periodos de germinación fueron de solamente un día y en otros tratamientos fueron de varios días (Tabla 6).

**Tabla 6.** Análisis de la varianza para el periodo de germinación en *S. macrophylla* por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas.

Fuentes de variaciones	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Prueba de estrés	801,500	2	400,750	8,849	0,001*
Tamaño de semillas	108,500	2	54,250	1,198	0,317 <sup>ns</sup>
Prueba de estrés * Tamaño de semillas	120,000	4	30,000	0,662	0,623 <sup>ns</sup>
Error del experimento	1222,750	27	45,287		
Total	2252,750	35			

Coeficiente de variación: 86,83%; SC: Sumas de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrados medio.

\*Diferencias estadísticas significativas; ns: Ausencia de diferencias estadísticas significativas.

Las semillas que se sometieron al envejecimiento acelerado repercutieron de manera significativa sobre el periodo de germinación donde la media observada fue de 1,67 días, las cuales superaron a los valores obtenidos en las semillas sin prueba de estrés, así como a los que se sometieron al estrés en frío (Tabla 7).

**Tabla 7.** Comparación de medias (Tukey) para el periodo de germinación en *S. macrophylla* por efectos de la prueba de estrés.

OM	Prueba de estrés	N	Media (días)	Subconjunto
1	Envejecimiento acelerado	12	1,67	a
2	Ninguno	12	8,42	ab
3	Frío	12	13,17	b

Letras diferentes indican diferencias estadísticas.

En análisis de la varianza considerado para el tiempo de germinación muestra que la intervención a las semillas de *S. macrophylla* mediante las pruebas de estrés

afectan de manera significativa a la variable indicada; caso contrario se registró en el factor tamaño de semillas y tampoco hubo interacción estadística de ambos factores estudiados. El coeficiente de variación resalta la heterogeneidad de los resultados obtenidos por repeticiones respecto al tiempo de germinación (Tabla 8).

**Tabla 8.** Análisis de la varianza para el tiempo de germinación en *S. macrophylla* por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas.

Fuentes de variaciones	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Prueba de estrés	663,500	2	331,750	7,285	0,003*
Tamaño de semillas	120,167	2	60,083	1,319	0,284 <sup>ns</sup>
Prueba de estrés * Tamaño de semillas	113,833	4	28,458	0,625	0,649 <sup>ns</sup>
Error del experimento	1229,500	27	45,537		
Total	2127,000	35			

Coefficiente de variación: 27,54%; SC: Sumas de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrados medio.

\*Diferencias estadísticas significativas; ns: Ausencia de diferencias estadísticas significativas.

El menor tiempo de germinación se observó en las semillas que estuvieron sometidas al envejecimiento acelerado en donde la media obtenida fue de 19,08 días y periodos más prolongado se reportó para las semillas sometidas a la prueba de frío donde la media fue 29,58 días (Tabla 9).

**Tabla 9.** Comparación de medias (Tukey) para el tiempo de germinación en *S. macrophylla* por efectos de la prueba de estrés.

OM	Prueba de estrés	N	Media (días)	Subconjunto
1	Envejecimiento acelerado	12	19,08	a
2	Ninguno	12	24,83	ab
3	Frío	12	29,58	b

Letras diferentes indican diferencias estadísticas.

Las semillas de *S. macrophylla* registraron elevado valor de germinación y estos no registraron demasiados periodos para germinar, sin embargo, es de suma importancia que se evite las semillas inviables y que se mantenga las semillas conservadas, esto es mencionado por Pérez y Pita (2001) al recalcar que, en el caso de tener una semilla viable y que no presente dormición va germinar en el caso de que existan condiciones

adecuadas de temperatura, luz y humedad; por ello se acepta la definición de que la capacidad germinativa de un grupo de semillas viene a ser el reflejo de su viabilidad. Cuando emerge la radícula se determina que la semilla ha germinado y se expresa en porcentaje de viabilidad.

El inicio de germinación superó los 15 días posteriores al almacigado (Figura 3), esto es inferior al reporte realizado por Verde (2014) en donde el inicio de la germinación se dio a los 18 días, esto pudo atribuirse a las condiciones donde realizó el estudio que fue en el vivero con tinglado cubierto por malla Raschel color negro, mientras que en el caso del presente estudio se realizó bajo condiciones de laboratorio, además otro de los factores que pudo haber influenciado estaría comprendido por el tipo de sustrato, siendo del autor mencionado que utilizó arena y no aserrín descompuesto.

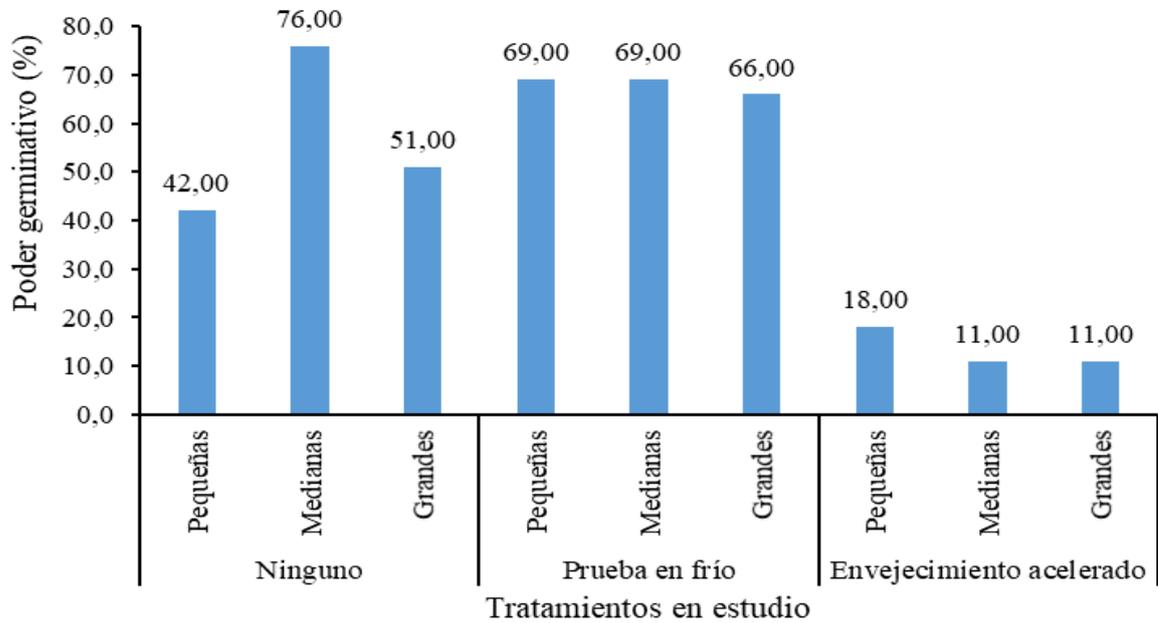
Periodos más prolongados del tiempo de germinación lo reportan Gómez et al. (2016) al señalar que las semillas de *S. macrophylla* germina a los 25 días, siendo superior a lo encontrado en el presente estudio, esta variabilidad de pudo atribuir a que el antecedente expuesto es de la región Lambayeque y las semillas utilizadas fueron adquiridas de la región Ucayali, pudiendo haber influenciado en cierta medida las condiciones climáticas o también pudieron estar guardadas mucho tiempo antes de que se adquirieran; otro de los factores que influenciaría en el inicio de la germinación es el sustrato utilizado debido a que en el presente estudio se utilizó aserrín descompuesto y bajo condiciones de laboratorio, mientras que los autores indicados realizaron la germinación directo en las camas germinadoras del vivero, existiendo elevada diferencia en la capacidad de retener humedad por parte de los sustratos utilizados.

#### **4.1.2. Poder germinativo de las semillas de *S. macrophylla***

De manera general, las semillas de *S. macrophylla* que se trataron con las pruebas de estrés en frío fueron las que generaron mejores resultados con respecto al demás prueba de estrés; a la vez es importante afirmar que, en el caso de los tres tamaños de las semillas no hubo un patrón de referencia diferenciada sobre el poder germinativo debido a que, en la prueba en frío, así como en el envejecimiento acelerado se encontró mayores valores en las semillas pequeñas (Figura 7).

Resultados superiores a lo registrado en el presente estudio lo reporta Flores (2001), determinó el poder germinativo de las semillas de *S. macrophylla*, utilizando diferentes tratamientos que provenían del tiempo de remojo y el tiempo de riego, reportando el mayor promedio del 94% cuando a las semillas se las somete al remojo por un periodo de 24 horas y luego del almacigado se tiene que regarlas cada 36 horas, igual que el mismo tiempo de remojo pero luego regándolo de manera diaria; resultados inferiores de

germinación se encontró cuando a las semillas se las remojó solamente por un periodo de 12 horas, ratificando la ventaja de hidratar a las semillas para que germine.



T<sub>1</sub>: Semilla pequeña sin estrés; T<sub>2</sub>: Semilla mediana sin estrés; T<sub>3</sub>: Semilla grande sin estrés; T<sub>4</sub>: Semilla pequeña con prueba de frío; T<sub>5</sub>: Semilla mediana con prueba de frío; T<sub>6</sub>: Semilla grande con prueba de frío; T<sub>7</sub>: Semilla pequeña con prueba de envejecimiento acelerado; T<sub>8</sub>: Semilla mediana con prueba de envejecimiento acelerado; T<sub>9</sub>: Semilla grande con prueba de envejecimiento acelerado

**Figura 7.** Porcentaje de germinación de las semillas de *S. macrophylla* sometidas a pruebas de estrés y tamaños de semilla.

En el análisis de la varianza para el poder germinativo, se registró que el uso de la prueba de estrés afectó de manera significativa sobre la variable dependiente señalada, caso diferente se reporta para el uso del factor tamaños de semillas, además de la ausencia de interacción estadística de ambos factores estudiados (Tabla 10).

**Tabla 10.** Análisis de la varianza para el poder germinativo en *S. macrophylla* por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas.

Fuentes de variaciones	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Prueba de estrés	19894,222	2	9947,111	38,085	<0,001*
Tamaño de semillas	672,889	2	336,444	1,288	0,292 <sup>ns</sup>
Prueba de estrés * Tamaño de semillas	1964,444	4	491,111	1,880	0,143 <sup>ns</sup>
Error del experimento	7052,000	27	261,185		
Total	29583,556	35			

Coefficiente de variación: 35,22%; SC: Sumas de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrados medio.

\*Diferencias estadísticas significativas; ns: Ausencia de diferencias estadísticas significativas.

En la comparación de medias, resaltan en el poder germinativo las semillas sometidas al estrés en frío y a los que no fueron estresadas, siendo superiores al promedio reportado por las semillas que fueron sometidos al estrés del envejecimiento acelerado (Tabla 11).

**Tabla 11.** Comparación de medias (Tukey) para el poder germinativo en *S. macrophylla* por efectos de la prueba de estrés.

OM	Prueba de estrés	N	Media (%)	Subconjunto
1	Frío	12	68,00	a
2	Ninguno	12	56,33	a
3	Envejecimiento acelerado	12	13,33	b

Letras diferentes indican diferencias estadísticas.

Los tamaños de las semillas no repercutieron de manera significativa sobre el porcentaje de germinación (Figura 4 y Tabla 10), este resultado difiere a lo encontrado por Verde (2014) en donde al utilizar semillas de tamaños grandes procedentes de un solo árbol semillero obtuvo un porcentaje de germinación del 83,00% sin ningún tratamiento adicional, valor que superó al 72,80% que se registró en las semillas de tamaño pequeño, razón por la cual el autor concluye que para propagar esta especie de alto valor económico se tienen que emplear semillas grandes y medianas con la cual se garantizan mayor cantidad de plántulas.

La variabilidad de la germinación respecto al tamaño de las semillas (Tabla 10) se ve reflejada también en otras especies vegetales como es el caso de *Cecropia obtusifolia*, en donde se observó que, las germinaciones de las semillas de tamaño grande obtuvieron valores que duplicaban lo registrado por las semillas de tamaño pequeño (Tenorio et al., 2008), de manera similar se reportan tasas de germinación en la especie *Helianthus annuus* (Krishnaveni y Sivasubramanian, 2001), así como también en *Tragopogon pratensis* ssp. *pratensis* (Van Mólken et al., 2005).

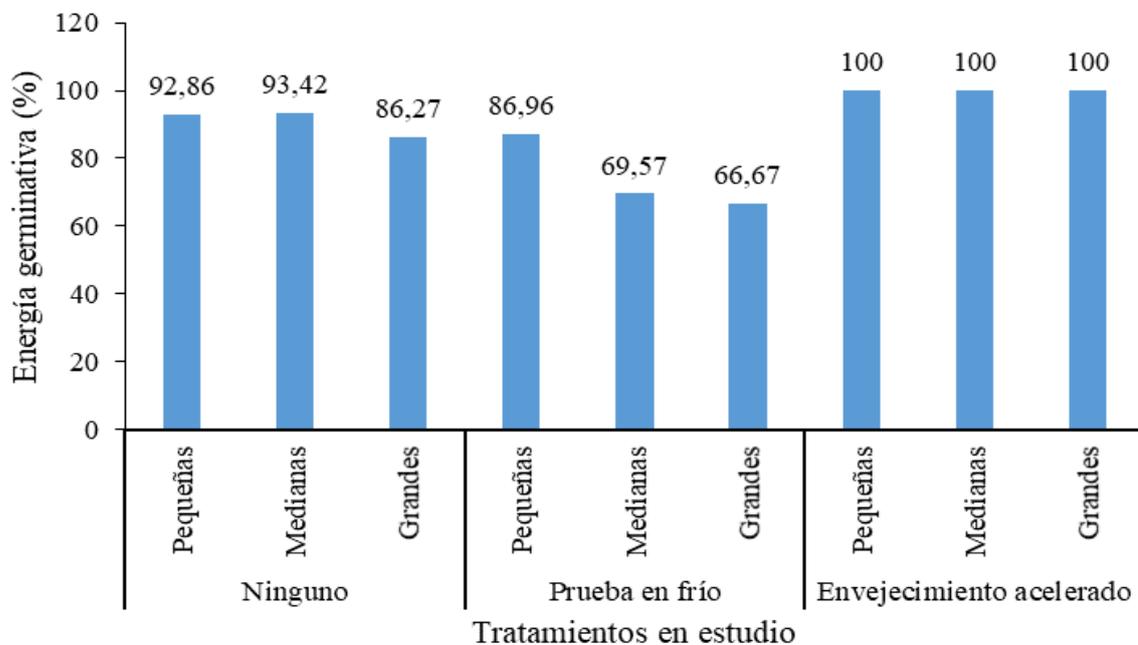
Reportes que ratifican los efectos favorables de emplear la prueba de estrés sobre la germinación es reportado por Retureta et al. (2014) quienes evaluaron el porcentaje de germinación, crecimiento, biomasa y humedad de *S. macrophylla* bajo varias prueba de estrés: 1) envejecimiento acelerado, 2) lombricompost, 3) peat moss, 4) envejecimiento acelerado 50% + lombricompost 50%, 5) envejecimiento acelerado 50% + peat moss 50%, 6) lombricompost 50% + peat moss 50%, y 7) envejecimiento acelerado 33%

+ lombricompost 33% + peat moss 33%; reportaron diferencias estadísticas por la prueba de estrés, sobresaliendo el tratamiento 7 debido a que sus resultados favorecieron al porcentaje de germinación, crecimiento inicial de las plantas y el peso seco.

Además de ello, la prueba de estrés que ha permitido obtener mejor resultado durante los procesos germinativos fue la prueba de frío, esto ocurre a consecuencia de la porosidad, la gran capacidad que presenta por lograr que retenga humedad necesaria, etc.; esta afirmación lo indica Ruano (2003) al sostener que, la prueba de estrés debe tener una alta capacidad de absorción y retención hídrica, con la finalidad de que aporte el agua que necesita una plántula en los diferentes periodos de tiempo que se realiza el riego.

#### 4.1.3. Energía germinativa en semilla de *S. macrophylla*

La energía germinativa fue superior al emplear los tres tamaños de semillas y que fueron sometidas al envejecimiento acelerado en donde el valor registrado fue del 100%, siguiendo proseguido por utilizar semilla de tamaño mediano y prueba de estrés (T<sub>2</sub>) en donde el valor alcanzado fue del 93,42%, mientras que, en el caso de los demás tratamientos en estudio se registró valores inferiores, más aún el emplear semilla grande y someterla a prueba en frío (T<sub>6</sub>) registró solamente un 66,67% de energía germinativa (Figura 8).



T<sub>1</sub>: Semilla pequeña sin estrés; T<sub>2</sub>: Semilla mediana sin estrés; T<sub>3</sub>: Semilla grande sin estrés; T<sub>4</sub>: Semilla pequeña con prueba de frío; T<sub>5</sub>: Semilla mediana con prueba de frío; T<sub>6</sub>: Semilla grande con prueba de frío; T<sub>7</sub>: Semilla pequeña con prueba de envejecimiento acelerado; T<sub>8</sub>: Semilla mediana con prueba de envejecimiento acelerado; T<sub>9</sub>: Semilla grande con prueba de envejecimiento acelerado

**Figura 8.** Energía germinativa del total de semillas germinadas en *S. macrophylla*.

Otro aspecto que pudo haber afectado a la germinación en menor medida pudo ser el tiempo transcurrido desde la cosecha que tuvieron las semillas de la especie en estudio, esto lo consideran en los trabajos realizados en el Instituto Boliviano De Investigación Forestal (2011) encontraron que, las semillas de *S. macrophylla* se caracterizan porque pierden su poder y energía germinativa en periodos de dos o tres semanas de haberse realizado la cosecha, pero, si se las almacena en condiciones muy favorables (baja temperatura), se logra que se mantenga su viabilidad por muchos meses más.

Resultados concordantes con las condiciones de germinación que lo reporta Côme, citado por Rodríguez et al. (2007), al concluir que el resultado de un experimento relacionado a la germinación por lo general es expresado en términos porcentuales de las semillas germinadas bajo las condiciones muy favorables referido al porcentaje de germinación y en el caso del porcentaje de semillas germinadas correspondientes al primer conteo que está referida a la energía germinativa.

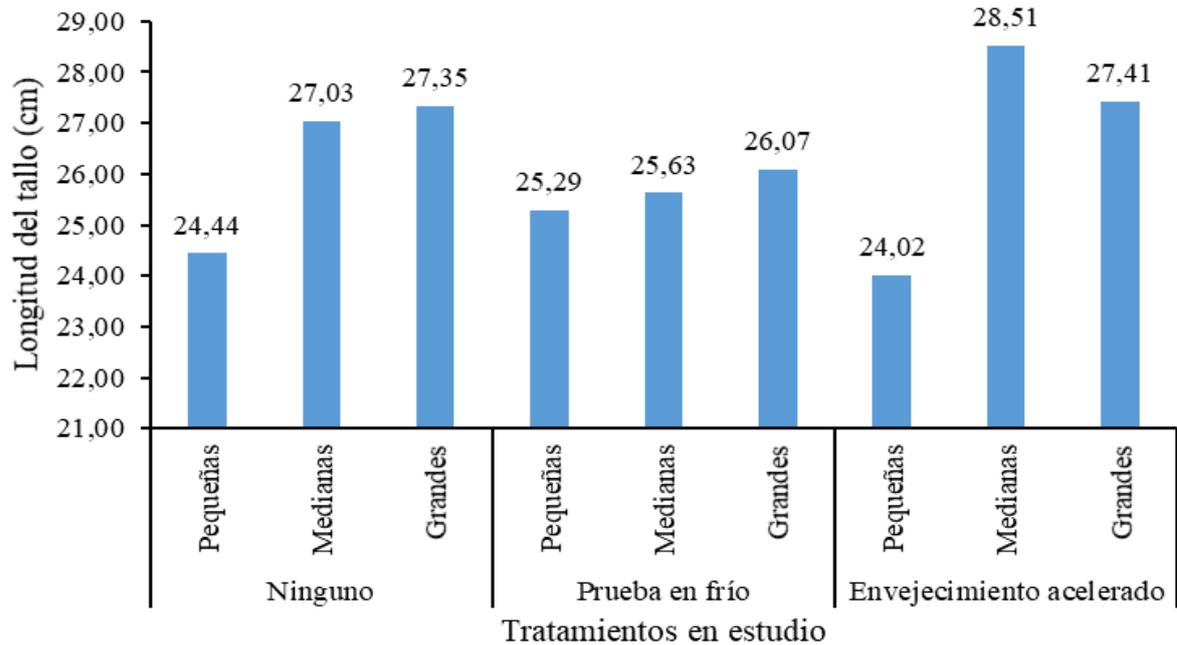
El tamaño de las semillas no registró diferencias con el poder germinativo, al respecto, Sol et al. (2016) registró que los tamaños de las semillas correspondiente a la especie en estudio variaron respecto a las tres procedencias de donde se colectaron, pero tampoco encontró relación con la tasa de germinación debido a que fueron similares la cantidad de semillas germinada, aunque las semillas pequeñas germinen más lento en comparación a las semillas grandes.

En los resultados se observa una máxima de 100% respecto a la energía germinativa en el caso de las semillas de *S. macrophylla* que fueron tratadas, siendo este un indicador de las semillas de mayor vigor, al respecto, Besnier (1990) lo fundamenta teóricamente a esta prueba en base a la condición fría y húmeda del suelo tiende a retardar la actividad dentro de las semillas de manera similar ocurre en los microorganismos en dicho medio edáfico. Pero, las semillas tienen mayor desventaja, siendo más susceptibles a que le ataquen los microorganismos y ocasionen pudrición. Las semillas de mayor vigor producen plántulas resistentes al ataque de microorganismos en comparación a las semillas más débiles.

## **4.2. Crecimiento inicial de las plántulas de *S. macrophylla* germinadas de diferentes tamaños de semillas en diferentes pruebas de estrés**

### **4.2.1. Longitud de la parte aérea en plántulas de *S. macrophylla***

Mayores dimensiones de la altura de los plantones fueron registradas al emplear semillas medianas y someterlas al envejecimiento acelerado, mientras que el valor más bajo se registró al emplear semillas pequeñas, pero con el mismo tipo de estrés previa a ser sembrada (Figura 9).



T<sub>1</sub>: Semilla pequeña sin estrés; T<sub>2</sub>: Semilla mediana sin estrés; T<sub>3</sub>: Semilla grande sin estrés; T<sub>4</sub>: Semilla pequeña con prueba de frío; T<sub>5</sub>: Semilla mediana con prueba de frío; T<sub>6</sub>: Semilla grande con prueba de frío; T<sub>7</sub>: Semilla pequeña con prueba de envejecimiento acelerado; T<sub>8</sub>: Semilla mediana con prueba de envejecimiento acelerado; T<sub>9</sub>: Semilla grande con prueba de envejecimiento acelerado

**Figura 9.** Altura de plántulas en *S. macrophylla* por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas.

Del contraste de hipótesis obtenido mediante el ANVA, se determinó que el factor prueba de estrés sometidas a las semillas no tuvieron efectos significativos sobre la altura de plántulas, interpretación contrario lo obtuvo el factor tamaño de semillas al registrar efectos significativos sobre la variable mencionada; en el caso de la interacción entre los niveles de ambos factores en estudio, no se registró significancia estadística lo que demuestra que ambos factores en estudio son independientes. Los valores respecto a la altura de plántulas fueron homogéneos debido a que el coeficiente de variación fue 6,82% dicho de otra manera el tesista pudo controlar los factores externos al experimento (Tabla 12).

**Tabla 12.** Análisis de la varianza para la altura de plántulas en *S. macrophylla* por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas.

Fuentes de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Prueba de estrés	5,926	2	2,963	0,928	0,408 <sup>ns</sup>
Tamaño de semilla	46,916	2	23,458	7,347	0,003*
Prueba de estrés * Tamaño de semilla	18,622	4	4,655	1,458	0,242 <sup>ns</sup>
Error experimental	86,203	27	3,193		
Total	157,667	35			

Coefficiente de variación: 6,82%; SC: Sumas de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrados medio.

\*Diferencias estadísticas significativas; ns: Ausencia de diferencias estadísticas significativas.

En la comparación de medias mediante la prueba de Tukey elaborado para el efecto principal del factor tamaños de las semillas, generó estadísticamente dos subconjuntos en la altura de plántulas, el primero que lo conformó las semillas medianas y grandes y un segundo grupo conformados por los niveles semillas pequeñas (Tabla 13).

**Tabla 13.** Comparación de medias (Tukey) para la altura de las plántulas en *S. macrophylla* por efectos de los tamaños de las semillas.

OM	Tamaño de semilla	Altura (cm)	Subconjuntos
1	Medianas	27,06	a
2	Grandes	26,94	a
3	Pequeñas	24,58	b

Letras diferentes indican diferencias estadísticas.

La altura de las plántulas fue favorecida por el tamaño de semillas grandes (Tabla 12 y 13) debido a que al presentar mayor tamaño de cotiledón las plántulas presentaron mayor cantidad de elementos nutritivos, debido a que Verde (2014) también encontró que los individuos procedentes de semillas grandes alcanzaron los 30,24 cm a los 135 días de edad en comparación a individuos procedentes de semillas medianas (28,47 cm) y pequeñas (25,26 cm), esto es una de las razones por las que es de suma importancia cumplir con la labor de categorizar a las semillas posterior al oreo que realizan después de cosechar los frutos de *S. macrophylla*, caso contrario se estaría favoreciendo a que al momento de almacigar las semillas se pudieran obtener menor cantidad de plántulas de mayor vigor y no se estaría cumpliendo con uno de los requisitos primordiales para establecer una plantación el cual indica que se deben emplear plantones de excelente calidad.

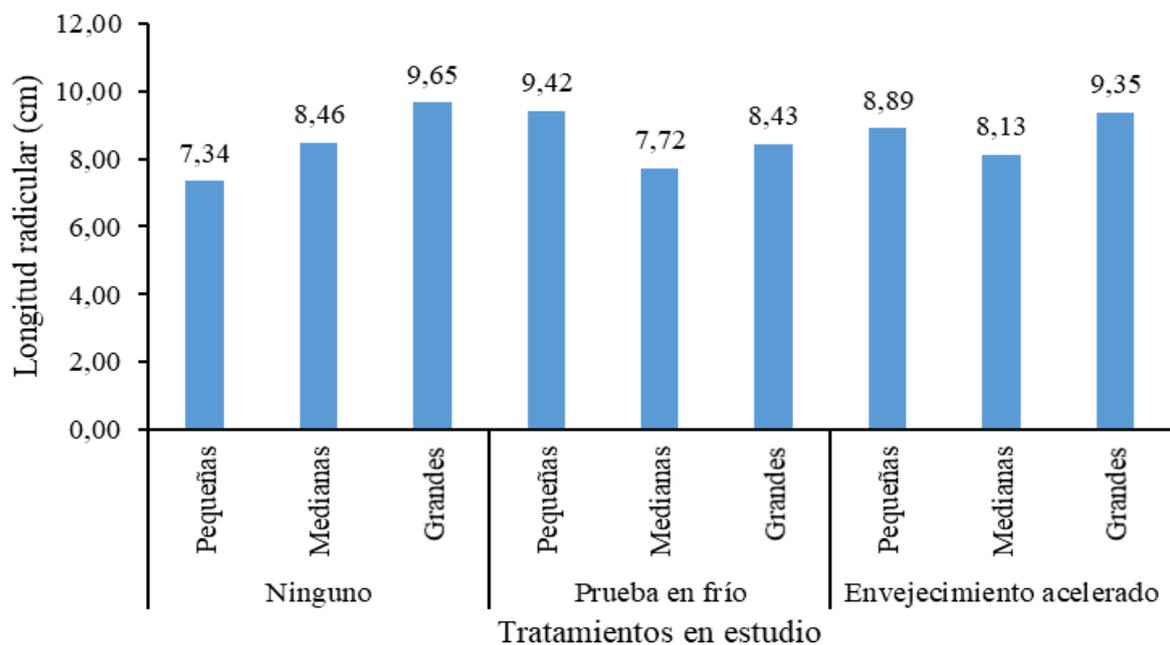
El promedio obtenido fueron superiores a la media de 24,02 cm (Figura 7), siendo superior a lo reportado por Villegas (2018) quien estudió fuentes de materia orgánica y dosis de biol en plantones de *S. macrophylla* y al cabo de un mes de edad, los plantones presentaron alturas promedios que fluctuaron desde los 9,9 cm hasta los 12,4 cm, mientras que a los cuatro meses de edad recién se encontraron individuos en el intervalo desde 20,9 cm hasta los 28,7 cm, esta diferencia se debe a que las plántulas que se obtuvieron en el laboratorio se alargaron en busca de luz, mientras que en el antecedentes el primer rango fue de 2,5 cm que se pudo atribuir a un ligero efecto de los tratamientos utilizado, pero a los cuatro meses el rango fue de 7,8 cm que fue más notorio los efectos de los sustratos, este comportamiento refleja que los plantones de la especie en estudio en su fase inicial tienen una

dependencia de la semilla y el medio, mientras que en adelante para que sigan creciendo depende a parte del cuidado de la capacidad de nutrientes que le aporta el sustrato o en todo caso la nutrición foliar por medio del uso de bioles.

Cuando los plántones de *S. macrophylla* se encuentran en las bolsas de polietileno es de suma importancia el sustrato que se está utilizando, de lo contrario se va tener falencias para que crezcan y desarrollen dichos individuos, esto lo corroboró Salas (2019) al concluir que la especie en estudio tiene alta dependencia a elementos nutrimentales como el hierro y el nitrógeno, en el caso de que se encuentren bajos los niveles dentro del sustrato utilizado, se observarán síntomas muy notorios en las hojas y presentarán lento crecimiento.

#### 4.2.2. Longitud de la raíz en plántulas de *S. macrophylla*

Las características como la longitud radicular de los plántones de *S. macrophylla* sobresalieron en los que provenían de semillas grandes y estén sometidos al envejecimiento acelerado. Solamente se en la categoría de las semillas que no fueron estresadas se observa una relación positiva y directa con las dimensiones de las semillas que se utilizaron (Figura 10).



T<sub>1</sub>: Semilla pequeña sin estrés; T<sub>2</sub>: Semilla mediana sin estrés; T<sub>3</sub>: Semilla grande sin estrés; T<sub>4</sub>: Semilla pequeña con prueba de frío; T<sub>5</sub>: Semilla mediana con prueba de frío; T<sub>6</sub>: Semilla grande con prueba de frío; T<sub>7</sub>: Semilla pequeña con prueba de envejecimiento acelerado; T<sub>8</sub>: Semilla mediana con prueba de envejecimiento acelerado; T<sub>9</sub>: Semilla grande con prueba de envejecimiento acelerado

**Figura 10.** Longitud de la raíz de las plántulas en *S. macrophylla* por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas.

Al realizar el contraste de hipótesis mediante el ANVA, se determinó que el factor prueba de estrés sometidas a las semillas no tuvieron efectos significativos respecto a la longitud de la raíz de las plántulas de *S. macrophylla*, interpretación similar lo obtuvo el factor tamaño de semillas al no registrar efectos significativos sobre la longitud de la raíz; en el caso de la interacción entre los niveles de ambos factores en estudio, no se registró significancia estadística lo que demuestra que ambos factores en estudio son independientes. Los valores respecto a la longitud de la raíz de las plántulas fueron ligeramente homogéneos debido a que el coeficiente de variación fue 15,76% dicho de otra manera el tesista no pudo controlar otros factores externos al experimento (Tabla 14).

**Tabla 14.** Análisis de la varianza para la longitud de la raíz de las plántulas en *S. macrophylla* por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas.

Fuentes de variaciones	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Prueba de estrés	0,679	2	0,340	0,185	0,832 <sup>ns</sup>
Tamaño de semillas	6,564	2	3,282	1,787	0,187 <sup>ns</sup>
Prueba de estrés * Tamaño de semillas	13,027	4	3,257	1,773	0,163 <sup>ns</sup>
Error del experimento	49,588	27	1,837		
<b>Total</b>	<b>69,859</b>	<b>35</b>			

Coeficiente de variación: 15,76%; SC: Sumas de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrados medio.

ns: Ausencia de diferencias estadísticas significativas.

En dos situaciones se observa ligera superioridad de las raíces en las plántulas procedentes de semillas grandes (Figura 7) pero carente de diferencias significativas (Tabla 14); resultados muy similares con el reporte de Verde (2014) quien también obtuvo mejores crecimientos en las plántulas de la especie en estudio que procedían al emplear semillas de tamaño grande, esta información tiende a sustentar que el mayor vigor con la que cuentan las plántulas cuando emergen son las de semillas grandes, debido a que el cotiledón es más grande que al de las semillas pequeñas y medianas.

La gran importancia de la prueba de frío es reportada por Mateo et al. (2011) al evaluar el efecto de las pruebas en frío en el crecimiento de plántulas de *Cedrela odorata*, en donde reportan que, mayores diámetros consiguieron al mezclar de 70% de prueba de frío + 30% de la mezcla peat moss-agrolita-vermiculita, la altura fue favorecida en la mezcla de 80% de prueba de frío más 20% de la mezcla peat moss-agrolita-vermiculita. El mayor peso seco de follaje correspondió a la mezcla que contenía 90% de prueba de frío más

10% de la mezcla peat moss-agrolitavermiculita. Sin embargo, el mayor valor de peso de la raíz y peso seco total correspondió a la mezcla con 60% de prueba de frío más 40% de peat moss-agrolita-vermiculita.

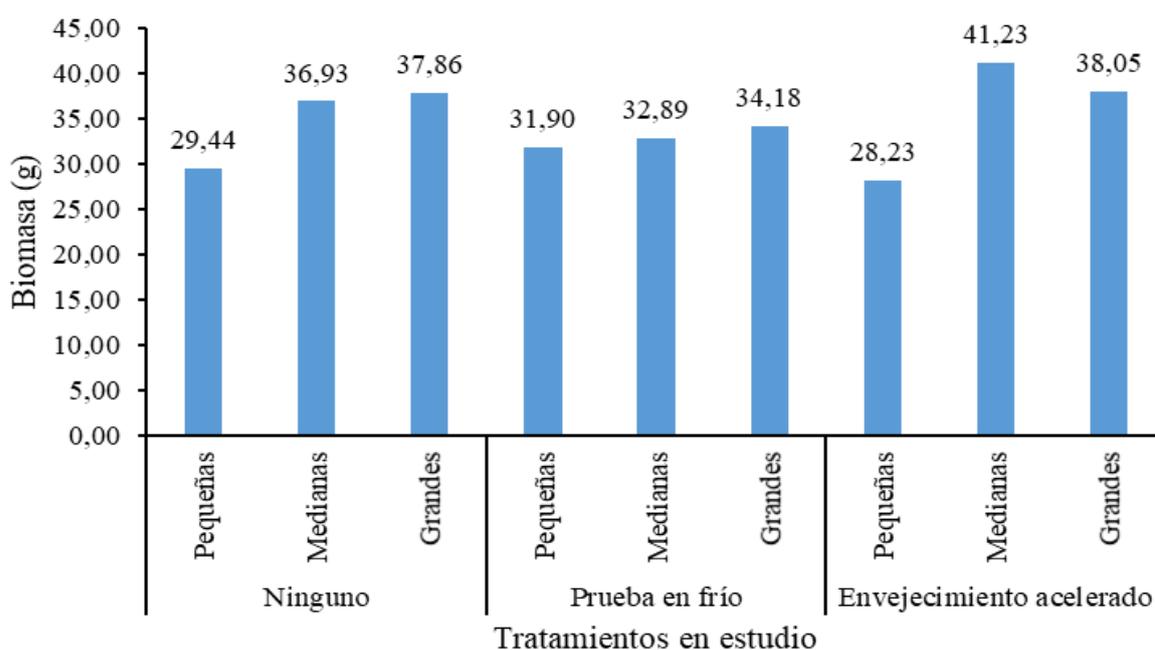
Similarmente, para Peretti (1994), el test de germinación estándar recoge el porcentaje de plántulas normales obtenido tras un análisis germinación. Es una prueba que informa sobre las semillas que más rápidamente han reanudado la actividad metabólica y el crecimiento propios de la germinación.

Debido a las mejores respuestas al utilizar los diferentes tratamientos, las plántulas presentaron similares características, al respecto Sandoval y Alejo (2009) recalcan que los ensayos de germinación son necesarios ya que las especies tienen sus características propias y algún tratamiento específico tendrá éxito con una determinada especie, pero no con otras. Por lo tanto, la búsqueda de mejores métodos muy importante desde el punto de vista económico, pues una germinación uniforme y en el menor tiempo posible favorece la disminución de los costos de producción. La prueba de estrés prueba de frío pudo favorecer en el aporte de nutrientes como el fósforo, la cual, las plántulas crezcan con mayor rapidez, al respecto Bertsch (1995) recalca que el fósforo es importante en el desarrollo del sistema radical de los plantones.

La ausencia de significancia en la longitud radicular pudo estar afectado en cierta medida por la dimensión de los envases utilizados debido a que en muchos casos por no ser muy profundos la raíz principal tocaba el fondo y mermaba su crecimiento, motivo por el cual en casi todos los individuos del experimento tuvieron esa limitante y también la ausencia de significancia estadística, dicho comportamiento de no significancia entre las dimensiones de las semillas lo reporta Sol et al. (2016) cuando llegaron a la conclusión que por más que se empleen semillas diferentes la germinación solamente presenta retardo de tiempo en germinar, pero las características de crecimiento por lo general se ven influenciadas por los nutrientes que se le otorga en el sustrato.

#### **4.2.3. Peso seco o biomasa de los plantones en *S. macrophylla***

La biomasa de los plantones de *S. macrophylla* que fueron sometidas al envejecimiento acelerado y contenían semillas medianas registraron mayor promedio, siendo este un 41,23 g, caso contrario se reportó en los individuos del mismo tipo de envejecimiento, pero donde las semillas fueron de tamaños pequeñas. Tanto en la prueba en frío como en las semillas que no recibieron tratamiento alguno, se observa cierta ascendencia de los valores mientras mayor es la dimensión de las semillas lo cual no se observar en el ensayo de envejecimiento acelerado (Figura 11).



**Figura 11.** Biomasa en las plántulas de *S. macrophylla* por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas.

En el ANVA se determinó que el factor prueba de estrés sometidas a las semillas no tuvieron efectos significativos sobre la biomasa de las plántulas, interpretación diferente lo obtuvo el factor tamaño de semillas al registrar efectos significativos sobre la biomasa de las plántulas; en el caso de la interacción entre los niveles de ambos factores en estudio, no se registró significancia estadística lo que demuestra que ambos factores en estudio son independientes. Los valores respecto a la altura de plántulas fueron homogéneos debido a que el coeficiente de variación fue 14,97% (Tabla 15).

**Tabla 15.** Análisis de la varianza para la biomasa en las plántulas de *S. macrophylla* por efectos de las pruebas de estrés y los tamaños de las semillas.

Fuentes de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Prueba de estrés	49,557	2	24,778	0,928	0,408 <sup>ns</sup>
Tamaño de semilla	392,362	2	196,181	7,347	0,003*
Prueba de estrés * tamaño de semilla	155,735	4	38,934	1,458	0,242 <sup>ns</sup>
Error experimental	720,925	27	26,701		
<b>Total</b>	<b>1318,579</b>	<b>35</b>			

Coeficiente de variación: 14,97%; SC: Sumas de cuadrados; GL: Grados de libertad; CM: Cuadrados medio.

\*Diferencias estadísticas significativas; ns: Ausencia de diferencias estadísticas significativas.

En la comparación de medias mediante la prueba de Tukey elaborado para el efecto principal del factor tamaño de semilla, generó estadísticamente dos subconjuntos de biomasa, el primero que lo conformó el grupo de semillas medianas y grandes, y un segundo grupo conformado por los niveles semillas pequeñas (Tabla 16).

**Tabla 16.** Comparación de medias (Tukey) para la biomasa en las plántulas de *S. macrophylla* por efectos de los tamaños de las semillas.

OM	Tamaño de semillas	Biomasa (g)	Subconjunto
1	Medianas	37,02	a
2	Grandes	36,69	a
3	Pequeñas	29,86	b

Letras diferentes indican diferencias estadísticas.

En el caso de los efectos del tamaño de las semillas, sobresalió las plántulas procedentes de semillas medianas y grandes (Tabla 16), esto fue corroborado por el estudio de Verde (2014), quien registró mejores promedios en comparación a dimensiones inferiores, tal es el caso cuando se produce con un sustrato cuyo componente fue tierra de bosque que registró 49,95 g, mientras que en el caso de emplear como componente al bokashi reportó una media de 44,11 g, esto indica que el crecimiento en fase de vivero de dicha especie no solamente es favorecida por el tamaño de semillas sino que hay muchos factores asociados como es el caso del tipo de sustrato utilizado con los cuales se va incrementando la calidad de las plántulas.

Las semillas almacenadas en prueba de frío presentaron similar vigor debido a que la biomasa (32,99 g/plantón), mientras que variables valores alcanzaron los que se produjeron en las demás pruebas de estrés. Para Ruiz et al. (1993), se evalúa el vigor de plántula medido por la producción de biomasa del sector aéreo, sobre longitudes del coleoptilo, lámina y vaina de la primera hoja, y sobre el diámetro de la plántula.

## V. CONCLUSIONES

1. Las semillas de *S. macrophylla* que se sometieron a los dos factores estudiados favorecieron sobre la germinación, del total de combinaciones analizadas, mejor valor se observó al no aplicar prueba de estrés sobre las semillas medianas (T<sub>2</sub>) que registraron 24,50 días de tiempo de germinación, 93,42% de energía germinativa y 76% de poder germinativo.
2. El comportamiento de las plántulas en fase de vivero procedentes de tratamientos previos a la germinación, ratifican un efecto sobresaliente de la prueba de envejecimiento acelerado, debido a que se registró valores como 28,51 cm para la altura, 8,13 cm respecto a la dimensión radicular y un 41,23 g correspondiente a la biomasa de la plántula; en el caso del factor tamaño de semilla, hubo efecto sobresaliente al utilizar semillas grandes por registrar 26,94 cm de altura, 9,14 cm de longitud radicular y 36,69 g de biomasa.

## VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Para la obtención de plántones *S. macrophylla* en fase de vivero que tengan características muy aceptables, se recomienda seleccionar semillas grandes y sembrarlos en prueba de estrés de prueba de frío.
2. Realizar otros estudios donde se consideren especies vegetales como plantas medicinales, frutales amazónicos y forestales empleando los factores en estudio, con la finalidad de que se avance en la búsqueda de incrementar el conocimiento del manejo de las semillas y se mejore la germinación tanto en condiciones de laboratorio, así como durante la fase de vivero.
3. Incluir otros factores en estudios similares como la procedencia de los árboles semilleros con la finalidad de fortalecer la información respecto a la especie *S. macrophylla*.

## VII. REFERENCIAS

- Alarcón-Segura, J., Martínez-Serna, L., y Castro-Zavala, S. (2003). *Notas técnicas de tratamiento pregerminativo para la siembra de semilla de Abies religiosa (H.B.K) Schl. Et Cham y Dodonaea viscosa (L.) Jacq.* Dirección de Recursos Naturales y Desarrollo Rural.
- Altimira, J., Arnal, A., Boada, M., Casanova, C., Herrero, J., Boada, M., Herrera, A., y Ruiz, V. (2015). Evaluación de parámetros de crecimiento en plántulas de *Cedrela odorata* bajo diferentes condiciones hídricas y su adaptación en sustratos degradados. *Revista Científica de FAREM-Estelí. Medio Ambiente, Tecnología y Desarrollo Humano*, 14(4), 86-96. <https://www.lamjol.info/index.php/FAREM/article/view/2585/2335>
- Alvarenga, S. (1988). Morfología y germinación de la semilla de caoba, *S. macrophylla* King “caoba” (Meliaceae). *Rev. Biol. Trop.*, 36(2A), 261-267.
- Aróstegui, A. (1982). *Recopilación y análisis del Estudio Tecnológico Maderas Peruanas*. Documento de trabajo FAO N°2.
- Asociación Internacional de Análisis de Semillas [ISTA]. (2002). *Reglas internacionales para ensayos de semillas*. ISTA.
- Asociación Internacional de Análisis de Semillas [ISTA]. (2005). *Normas Internacionales para Análisis de Semillas*. ISTA.
- Besnier, F. (1990). *Semillas, biología y tecnología*. Mundi-Prensa.
- Betancourt, A. (1987). *Silvicultura especial de árboles maderables tropicales*. Ed. Científico Técnica SA.
- Bonner, F.T. (1974). Sed Testing. *En Seeds of woody plants in the United States, Agriculture Handbook N° 450*. USDA.
- Calzada, J. (1970). *Métodos estadísticos para la investigación* (3ª ed.). Editorial Jurídica S. A.
- Castillo, N. (2010). Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de caoba y roble. *Rev. Maderas y bosques*, 16(2), 7-18.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE]. (1997). *S. macrophylla* King “caoba”. Proy. PROSEFOR-CATIE. Nota técnica N° 21.
- Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2001). *Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación*. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Courtis, A. (2013). *Germinación de semillas. Fisiología vegetal*. Universidad Nacional del Nordeste. <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Guiadeestudio-Germinacion.pdf>
- Covas, G. (1980). Efectividad de las selecciones recurrentes por medios mecánicos en centeno (*Secale cereale* (L.) M.Bieb.) y en sorgo negro (*Sorghum etmun* L.). *Rev. Genetica*, 2, 453-456.
- Craviotto, R. M., Arango P. M., y Gallo, C. (2010). *Grupo de Calidad de Simiente: Porque evaluar vigor?*. Tecnología de Semillas, EEA Oliveros INTA.
- Cronquist, A. (1981). *Un sistema integrado de clasificación de las Angiospermas*. Ed. Columbia University Press.
- Ferguson, J. (1995). Una introducción a las semillas prueba de vigor. In: *Seminario de semillas de prueba vigor*. Zurich ISTA, (1995. Copenhague, Dinamarca). 1995. p. 1-9.
- Flores, J. E. (2001). *Frecuencia de riego en germinación de semillas de Swietenia macrophylla King en vivero, bajo diferentes tratamientos, Colonia Angamos río Yavari – Perú* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio institucional UNAPIQUITOS. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/5108>
- García, X., Negreros, C., y Rodríguez, S. (1993). Regeneración natural de *S. macrophylla* King “caoba” bajo diferentes densidades de dosel. *Rev. Ciencia forestal. Inst. Nal. de Investigaciones Forestales. Agric. y Pec.*, 18(74), 25-43.
- Gómez, A., Beraun, L. A., Gómez, O. J., y Llatas, E. (2016). *Germinación y morfología de la caoba Swietenia macrophylla King en la Región Lambayeque*. INIA. [https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/573/1/Gomez-germinacion\\_mcaoba.pdf](https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/573/1/Gomez-germinacion_mcaoba.pdf)
- Grupo para la Filogenia de las Angiospermas [APG]. (2009). *Sistema de clasificación APG III*. <http://www.efn.uncor.edu/departamentos/divbioeco/divveg2/CLADOS%20curso%202010.pdf>
- Hartmann, T., y Kester, E. (1982). *Propagación de plantas y principios básicos* (3 ed.). Ed. CECOSA.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). Mc Graw Hill.
- Herrera, C. (1996). Propagación masiva de caoba (*S. macrophylla* King “caoba”) por semillas y estaquillas en bosques locales. *Rev. Genetica*, 2, 453-456.

- Herrera, L. (2000). Estudio de la germinación y la conservación de semillas de cedro maría (*Calophyllum brasiliense*). *Rev. Tec. en Marcha*, 19(1), 61-72.
- Hilje, L., y Cornelius, J. (2001). ¿Es inmanejable *Hypsipyla grandella* como plaga forestal?. CATIE.
- Horturba. (2016). *Conservación de la semilla*. Boletín electrónico. Horturba. [http://www.horturba.com/castellano/cultivar/ficha\\_manejo.php?ID=15](http://www.horturba.com/castellano/cultivar/ficha_manejo.php?ID=15)
- Huerta, R., y Rodríguez, D. A. (2011). Efecto del tamaño de semilla y la temperatura en la germinación de *Quercus rugosa* Née. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(2), 179-187. <https://www.redalyc.org/pdf/629/62919277001.pdf>
- Ilbi, H., Kavak, S., y Eser, B. (2009). Germinación fresca: prueba de lata es una prueba de vigor alternativa para el maíz. *Rev. la Ciencia y la semilla*, 37(2), 516-519.
- Instituto Boliviano De Investigación Forestal [IBIF]. (2011). *Swietenia macrophylla* King “caoba”, <http://www.ibifbolivia.org.bo/index.php/Monitoreo/Monitoreo>
- Jiménez, C. J., y Castillo, L. C. (1990). Caracterización de 33 especies forestales tropicales. In *Memoria del Taller Internacional sobre Investigación en silvicultura y Manejo de Selvas*. SARH. INIFAP. COFAN. C.E. “Ing. Eduardo Sangri Serrano”. México. Pub. N° 6 p. 122-137.
- Krishnaveni, K., y Sivasubramanian, K. (2001). Effect of seed size on seed quality in sunflower cv. Morden. *Madras Agr. J.*, 88, 133-134.
- Li, A., Herrera, J., y Barboza, R. (1996). Efecto del envejecimiento acelerado sobre la germinación y el vigor de la semilla de china sultani (*Impatiens wallerana*) en almácigo. *Agronomía Costarricense*, 20(2), 173-180.
- Magin, G. (2006). *Estado y aprovechamiento sostenible de la caoba en Centroamérica: Informe de un estudio realizado en Nicaragua y un taller de coordinación regional*. FAUNA & FLORA. USAID.
- Marmillod, D. (2007). *Diagnóstico para evaluar estrategias de manejo para la caoba*. IIAP – BIODAMAZ.
- Mateo, J., Bonifacio, R., Pérez, S., Mohedano, L., y Capulín, J. (2011). Producción de *Cedrela odorata* L. en sustrato a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Técpan de Galeana, Guerrero, México. *Ra Ximhai*, 7, 123-132. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46116742012>
- Megías, M., Molist, P., y Pombal, M. (2015). *La semilla: Atlas de histología vegetal y animal órganos vegetales*. Universidad de Vigo.

- Negreros, P., Martínez, M., y Mize, C. (2010). Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble. *Madera Bosques*, 16(2), 7-18. <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v16n2/v16n2a1.pdf>
- Niembro, A. (1995). Producción de semillas de caoba *S. macrophylla* King “caoba” bajo condiciones naturales en Campeche, México. In *Avances en la producción de semillas forestales en América Latina*. (1995, Managua, Nicaragua). 1995. p. 249-263.
- Ñaupás, H., Mejía, E., Novoa, E., y Villagómez, A. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa – cualitativa y redacción de la tesis* (4ª ed.). Ediciones de la U.
- Orti, A. (2009). *Germinación de la semilla*. Unidad de Geología y Biología. CAC. <http://www.cac.es/cursomotivar/resources/document/2010/7.pdf>
- Padilla, M. (1983). *Manual del viverista*. Ed. Centro de Investigación y capacitación forestal, Cajamarca y Cooperación Técnica Belga.
- Pennington, D. (2002). Caoba tallado el futuro. *Rev. El biólogo*, 49(5), 204-208.
- Peretti, A. (1994). *Manual para análisis de semillas*. Ed. Hemisferio Sur.
- Pérez, F. G., y Pita, V. J. (2001). *Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.
- Poulsen, K. (1993). *Calidad de la semilla: concepto, medición y métodos para aumentar la calidad*. Centro de semillas forestales de DANIDA.
- Retureta, A., Tinoco, C. A. Castillo, G., y Carrión, N. (2014). Comparación de sustratos para producción de caoba *Swietenia macrophylla* King, con semillas colectadas del río Michapan de Acayucan, Veracruz, México. *Biológico Agropecuario Tuxpan*, 2(1), 81-85. <https://www.revistabioagro.mx/index.php/revista/article/view/250/298>
- Reynel, C., Penninton, R., y Muellner, A. (2010). *Morfología de Cedrela (Meliaceae)*. DH Books, Chapel Lane.
- Rodriguez, I., Guilles, A., y Duran, J. (2007). *Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas*. Universidad Politécnica de Madrid. UPM, [https://www.researchgate.net/publication/275328970\\_Ensayos\\_de\\_germinacion\\_y\\_analisis\\_de\\_viabilidad\\_y\\_vigor\\_en\\_semillas](https://www.researchgate.net/publication/275328970_Ensayos_de_germinacion_y_analisis_de_viabilidad_y_vigor_en_semillas)
- Rodriguez, R. (1989). El control de calidad de semilla genética y básica. In: *Curso de mejoramiento de maíz y producción de semilla genética básica*. San José de Escluintla. Guatemala. p 140-150.
- Ruiz, M. A., Covas, G. F., Babinec, F.J., y Giménez, H. D. (1993). Peso de grano y vigor de plántula en centenos diploide y tetraploide. *Rev. Fac. Agro. UNLPam.*, 7(1), 1-17.

- Salas, M. R. (2019). *Niveles de deficiencias nutricionales en caoba (Swietenia Macrophylla King) desarrollada a nivel de invernadero en el distrito de la banda de Shilcayo – San Martín* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio institucional UNAPIQUITOS. [https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/8569/Magna\\_Tesis\\_Titulo\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/8569/Magna_Tesis_Titulo_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Salinas, A., Yoldjian, A., Craviotto, R., y Bisaro, V. (2000). Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36(2), 371-379. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000200022>
- Sánchez, A., Megía, J., Pérez, J., y López, J. (2016). Relación dimensión - germinación de semilla de *S. macrophylla* King “caoba” en la UMAF 2702ST Sierra de Tenosique. *Rev. Mex. de Cien. Agríc. Pub. Esp.*, 14(1), 2783-2791.
- Sol, Á., Megía, H. J., Pérez, J., y López, J. (2016). Relación dimensión - germinación de semilla de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en la UMAF 2702ST Sierra de Tenosique. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp.*, 14, 2783-2791. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016001002783&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016001002783&script=sci_arttext)
- Steel, R., y Torrie, H. (1980). *Principios y procedimientos de Estadísticas del enfoque biométrico* (2 ed.). McGraw Hill.
- Strasburger, E. (2004). *Tratado de botánica* (35 ed.). Omega S.A.
- Tenorio, M. R. (2018). *Evaluación de cuatro sustratos para la reproducción sexual de Swietenia macrophylla (caoba) en el vivero de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en la ciudad Riobamba, Provincia de Chimborazo* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio institucional ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10374/1/33T0209.pdf>
- Tenorio, G., Rodríguez, D. A., y López, G. (2008). Efecto del tamaño y color de la semilla en la germinación de *Cecropia obtusifolia* Bertol (Cecropiaceae). *Agrociencia*, 42(5), 585-593. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952008000500010](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000500010)
- Toledo, S. M., y Snook, L. K. (2005). Efectos de la dispersión de semillas y tratamientos silviculturales en la regeneración natural de la caoba en Belice. *Rev. Recursos Naturales y Ambiente*, 44, 68-75.
- Valle, H. (1994). *Especies forestales de Petén, Versión Dic/94*.

- Van Mólken, T., Jorritsma–Wienk, L. D., van Hoek, P. H. W., y de Kroon, H. (2005). Only seed size matters for germination in different populations of the dimorphic *Tragopogon pratensis* subsp. *pratensis* (Asteraceae). *Am. J. Bot.*, 92, 432-437.
- Venable, D. L., y Pake. C. E. (1999). Ecología de poblaciones de plantas del desierto. In: *Ecología de Plantas del Desierto*. Universidad de Arizona. (25 1999, Robichaux USA). 1999 Robichaux, a. p 115-142.
- Verde, M. (2014). *Influencia de dos sustratos y tres tamaños de semilla en la germinación y crecimiento inicial de la caoba (Swietenia macrophylla King) en Tingo María* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional <https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/606/T.FRS-209.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villegas, S. (2018). *Compost a partir de diferentes tipos de estiércol, enriquecido con microorganismos eficaces (ME), para el crecimiento de plántones de “Caoba” (Swietenia macrophylla) con fines de reforestación. Rioja-2017* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto]. Repositorio institucional UNSM. <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/3012/1/AMBIENTAL%20-%20Sandra%20Villegas%20C%3a1ceres.pdf>

## **ANEXO**

## Anexo A. Base de datos de las evaluaciones

**Tabla 17.** Matriz de datos de la germinación de semillas de *S. macrophylla*.

Tratamiento	Estrés	Tamaño	Repetición	PG (%)	Inicio (días)	TG (días)	PG (días)
1	0	1	R <sub>1</sub>	48	16	6	22
1	0	1	R <sub>2</sub>	48	17	8	25
1	0	1	R <sub>3</sub>	48	17	6	23
1	0	1	R <sub>4</sub>	24	16	5	21
2	0	2	R <sub>1</sub>	72	16	8	24
2	0	2	R <sub>2</sub>	72	17	13	30
2	0	2	R <sub>3</sub>	100	16	7	23
2	0	2	R <sub>4</sub>	60	16	5	21
3	0	3	R <sub>1</sub>	48	16	5	21
3	0	3	R <sub>2</sub>	36	16	4	20
3	0	3	R <sub>3</sub>	48	18	6	24
3	0	3	R <sub>4</sub>	72	16	28	44
4	1	1	R <sub>1</sub>	72	16	20	36
4	1	1	R <sub>2</sub>	36	16	4	20
4	1	1	R <sub>3</sub>	84	16	6	22
4	1	1	R <sub>4</sub>	84	16	5	21
5	1	2	R <sub>1</sub>	60	16	8	24
5	1	2	R <sub>2</sub>	72	16	23	39
5	1	2	R <sub>3</sub>	84	16	15	31
5	1	2	R <sub>4</sub>	60	16	27	43
6	1	3	R <sub>1</sub>	48	16	5	21
6	1	3	R <sub>2</sub>	84	18	4	22
6	1	3	R <sub>3</sub>	36	18	13	31
6	1	3	R <sub>4</sub>	96	17	28	45
7	2	1	R <sub>1</sub>	12	19	1	20
7	2	1	R <sub>2</sub>	24	16	1	17
7	2	1	R <sub>3</sub>	24	18	1	19
7	2	1	R <sub>4</sub>	12	16	1	17
8	2	2	R <sub>1</sub>	12	16	1	17

Tratamiento	Estrés	Tamaño	Repetición	PG (%)	Inicio (días)	TG (días)	PG (días)
8	2	2	R <sub>2</sub>	24	16	3	19
8	2	2	R <sub>3</sub>	4	18	1	19
8	2	2	R <sub>4</sub>	4	18	1	19
9	2	3	R <sub>1</sub>	4	18	1	19
9	2	3	R <sub>2</sub>	12	18	1	19
9	2	3	R <sub>3</sub>	4	18	1	19
9	2	3	R <sub>4</sub>	24	18	7	25

**Tabla 18.** Matriz de datos de la longitud radicular, longitud del tallo y biomasa de *S. macrophylla*.

Tratamiento	Estrés	Tamaño	Repetición	Raíz (cm)	Longitud del tallo (cm)	Biomasa (g)
1	0	1	R <sub>1</sub>	6,75	25,25	31,79
1	0	1	R <sub>2</sub>	8,40	22,35	23,41
1	0	1	R <sub>3</sub>	7,75	25,60	32,81
1	0	1	R <sub>4</sub>	6,45	24,55	29,77
2	0	2	R <sub>1</sub>	7,85	28,70	41,77
2	0	2	R <sub>2</sub>	9,17	25,40	32,23
2	0	2	R <sub>3</sub>	7,80	25,64	32,94
2	0	2	R <sub>4</sub>	9,00	28,36	40,79
3	0	3	R <sub>1</sub>	8,60	28,33	40,69
3	0	3	R <sub>2</sub>	12,40	27,63	38,69
3	0	3	R <sub>3</sub>	10,55	26,63	35,77
3	0	3	R <sub>4</sub>	7,07	26,80	36,28
4	1	1	R <sub>1</sub>	11,92	22,75	24,56
4	1	1	R <sub>2</sub>	6,40	26,25	34,69
4	1	1	R <sub>3</sub>	10,41	26,81	36,32
4	1	1	R <sub>4</sub>	8,94	25,33	32,02
5	1	2	R <sub>1</sub>	7,10	24,90	30,78
5	1	2	R <sub>2</sub>	7,57	24,77	30,40
5	1	2	R <sub>3</sub>	7,80	26,44	35,24
5	1	2	R <sub>4</sub>	8,41	26,40	35,12
6	1	3	R <sub>1</sub>	7,43	30,20	46,11

Tratamiento	Estrés	Tamaño	Repetición	Raíz (cm)	Longitud del tallo (cm)	Biomasa (g)
6	1	3	R <sub>2</sub>	9,43	27,88	39,41
6	1	3	R <sub>3</sub>	8,67	24,70	30,20
6	1	3	R <sub>4</sub>	8,19	21,51	20,99
7	2	1	R <sub>1</sub>	8,89	24,02	28,23
7	2	1	R <sub>2</sub>	7,45	24,05	28,32
7	2	1	R <sub>3</sub>	8,53	23,80	27,60
7	2	1	R <sub>4</sub>	10,70	24,20	28,76
8	2	2	R <sub>1</sub>	7,50	27,50	38,30
8	2	2	R <sub>2</sub>	8,85	29,20	43,22
8	2	2	R <sub>3</sub>	8,18	28,35	40,76
8	2	2	R <sub>4</sub>	8,00	29,00	42,64
9	2	3	R <sub>1</sub>	9,30	30,00	45,53
9	2	3	R <sub>2</sub>	8,00	25,20	31,65
9	2	3	R <sub>3</sub>	9,50	27,00	36,86
9	2	3	R <sub>4</sub>	10,60	27,45	38,16

**Tabla 19.** Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 1.

Días	Tratamiento 1				Total diario	TA	TA como % del total de semillas	PG diaria media	TA como % de semillas germinables
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>					
1					0	0	0,00	0,00	0,00
2					0	0	0,00	0,00	0,00
3					0	0	0,00	0,00	0,00
...					...	...	...	...	...
16	1			1	2	2	2,00	0,13	4,76
17	2	1	1	0	4	6	6,00	0,35	14,29
18	2	1	2	2	7	13	13,00	0,72	30,95
19	3	3	2	2	10	23	23,00	1,21	54,76
20	3	2	4	1	10	33	33,00	1,65	78,57
21	1	3	2		6	39	39,00	<b>1,86</b>	<b>92,86</b>
22		1	1		2	41	41,00	1,86	97,62
23		0			0	41	41,00	1,78	97,62
24		1			1	42	42,00	1,75	100,00

Días	Tratamiento 1				Total diario	TA	TA como % del total de semillas	PG diaria media	TA como % de semillas germinables
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>					
25					0	42	42,00	1,68	100,00
26					0	42	42,00	1,62	100,00

TA: Total acumulado. PG: Porcentaje de germinación.

**Tabla 20.** Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 2.

Días	Tratamiento 2				Total diario	TA	TA como % del total de semillas	PG diaria media	TA como % de semillas germinables
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>					
1					0	0	0,00	0,00	0,00
2					0	0	0,00	0,00	0,00
3					0	0	0,00	0,00	0,00
...					...	...	...	...	...
16	2		2	2	6	6	6,00	0,38	7,89
17	2	1	4	3	10	16	16,00	0,94	21,05
18	3	4	5	2	14	30	30,00	1,67	39,47
19	4	2	4	4	14	44	44,00	2,32	57,89
20	2	3	4	4	13	57	57,00	2,85	75,00
21	1	2	3		6	63	63,00	3,00	82,89
22	3	2	3		8	71	71,00	<b>3,23</b>	<b>93,42</b>
23	1	0			1	72	72,00	3,13	94,74
24		1			1	73	73,00	3,04	96,05
25		0			0	73	73,00	2,92	96,05
26		1			1	74	74,00	2,85	97,37
27		1			1	75	75,00	2,78	98,68
28		0			0	75	75,00	2,68	98,68
29		1			1	76	76,00	2,62	100,00
30					0	76	76,00	2,53	100,00
31					0	76	76,00	2,45	100,00

TA: Total acumulado.

PG: Porcentaje de germinación.

**Tabla 21.** Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 3.

Días	Tratamiento 3				Total diario	TA	TA como % del total de semillas	PG diaria media	TA como % de semillas germinables
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>					
1					0	0	0,00	0,00	0,00
2					0	0	0,00	0,00	0,00
3					0	0	0,00	0,00	0,00
...					...	...	...	...	...
16	4	2		3	9	9	9,00	0,56	17,65
17	1	2		1	4	13	13,00	0,76	25,49
18	2	3	3	3	11	24	24,00	1,33	47,06
19	1	2	1	1	5	29	29,00	1,53	56,86
20	4		3	2	9	38	38,00	1,90	74,51
21			1	0	1	39	39,00	1,86	76,47
22			2	0	2	41	41,00	1,86	80,39
23			2	1	3	44	44,00	<b>1,91</b>	<b>86,27</b>
24				0	0	44	44,00	1,83	86,27
25				1	1	45	45,00	1,80	88,24
26				0	0	45	45,00	1,73	88,24
27				0	0	45	45,00	1,67	88,24
28				1	1	46	46,00	1,64	90,20
29				0	0	46	46,00	1,59	90,20
30				0	0	46	46,00	1,53	90,20
31				1	1	47	47,00	1,52	92,16
32				0	0	47	47,00	1,47	92,16
33				0	0	47	47,00	1,42	92,16
34				1	1	48	48,00	1,41	94,12
35				0	0	48	48,00	1,37	94,12
36				1	1	49	49,00	1,36	96,08
37				0	0	49	49,00	1,32	96,08
38				0	0	49	49,00	1,29	96,08
39				0	0	49	49,00	1,26	96,08
40				1	1	50	50,00	1,25	98,04
41				0	0	50	50,00	1,22	98,04

Días	Tratamiento 3				Total diario	TA	TA como % del total de semillas	PG diaria media	TA como % de semillas germinables
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>					
42			0		0	50	50,00	1,19	98,04
43			1		1	51	51,00	1,19	100,00
44					0	51	51,00	1,16	100,00

TA: Total acumulado. PG: Porcentaje de germinación.

**Tabla 22.** Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 4.

Días	Tratamiento 4				Total diario	TA	TA como % del total de semillas	PG diaria media	TA como % de semillas germinables
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>					
1					0	0	0,00	0,00	0,00
2					0	0	0,00	0,00	0,00
3					0	0	0,00	0,00	0,00
...					...	...	...	...	...
16	3	2	3	4	12	12	12,00	0,75	17,39
17	1	2	5	6	14	26	26,00	1,53	37,68
18	2	3	5	4	14	40	40,00	2,22	57,97
19	2	2	3	4	11	51	51,00	2,68	73,91
20	0		2	3	5	56	56,00	2,80	81,16
21	1		3		4	60	60,00	<b>2,86</b>	<b>86,96</b>
22	0				0	60	60,00	2,73	86,96
23	2				2	62	62,00	2,70	89,86
24	0				0	62	62,00	2,58	89,86
25	0				0	62	62,00	2,48	89,86
26	1				1	63	63,00	2,42	91,30
27	0				0	63	63,00	2,33	91,30
28	1				1	64	64,00	2,29	92,75
29	0				0	64	64,00	2,21	92,75
30	2				2	66	66,00	2,20	95,65
31	0				0	66	66,00	2,13	95,65
32	1				1	67	67,00	2,09	97,10
33	1				1	68	68,00	2,06	98,55
34	0				0	68	68,00	2,00	98,55

Días	Tratamiento 4				Total diario	TA	TA como % del total de semillas	PG diaria media	TA como % de semillas germinables
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>					
35	1				1	69	69,00	1,97	100,00
36					0	69	69,00	1,92	100,00
37					0	69	69,00	1,86	100,00

TA: Total acumulado. PG: Porcentaje de germinación.

**Tabla 23.** Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 5.

Días	Tratamiento 5				Total diario	TA	TA como % del total de semillas	PG diaria media	TA como % de semillas germinables
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>					
1					0	0	0,00	0,00	0,00
2					0	0	0,00	0,00	0,00
3					0	0	0,00	0,00	0,00
...					...	...	...	...	...
16	3	1	2	3	9	9	9,00	0,56	13,04
17	2	1	2		5	14	14,00	0,82	20,29
18	3	2	3		8	22	22,00	1,22	31,88
19	3	2	2		7	29	29,00	1,53	42,03
20	0	2	3	2	7	36	36,00	1,80	52,17
21	1	0	2	2	5	41	41,00	1,95	59,42
22	1	2	1	0	4	45	45,00	2,05	65,22
23	2	0	1	0	3	48	48,00	<b>2,09</b>	<b>69,57</b>
24		1	0	1	2	50	50,00	2,08	72,46
25		0	1	0	1	51	51,00	2,04	73,91
26		0	1	0	1	52	52,00	2,00	75,36
27		1	0	0	1	53	53,00	1,96	76,81
28		1	1	1	3	56	56,00	2,00	81,16
29		0	0	0	0	56	56,00	1,93	81,16
30		1	2	0	3	59	59,00	1,97	85,51
31		0		0	0	59	59,00	1,90	85,51
32		1		1	2	61	61,00	1,91	88,41
33		0		0	0	61	61,00	1,85	88,41
34		1		0	1	62	62,00	1,82	89,86
35		0		1	1	63	63,00	1,80	91,30
36		1		0	1	64	64,00	1,78	92,75
37		0		0	0	64	64,00	1,73	92,75
38		1		1	2	66	66,00	1,74	95,65

Días	Tratamiento 5				Total diario	TA	TA como % del total de semillas	PG diaria media	TA como % de semillas germinables
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>					
39				0	0	66	66,00	1,69	95,65
40				1	1	67	67,00	1,68	97,10
41				0	0	67	67,00	1,63	97,10
42				0	0	67	67,00	1,60	97,10
43				1	1	68	68,00	1,58	98,55
44				0	0	68	68,00	1,55	98,55
45				1	1	69	69,00	1,53	100,00

TA: Total acumulado. PG: Porcentaje de germinación.

**Tabla 24.** Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 6.

Días	Tratamiento 6				Total diario	TA	TA como % del total de semillas	PG diaria media	TA como % de semillas germinables
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>					
1					0	0	0,00	0,00	0,00
2					0	0	0,00	0,00	0,00
3					0	0	0,00	0,00	0,00
...					...	...	...	...	...
16	3				3	3	3,00	0,19	4,35
17	5			2	7	10	10,00	0,59	14,49
18	1	8	3	0	12	22	22,00	1,22	31,88
19	1	3	0	4	8	30	30,00	1,58	43,48
20	2	6	1	1	10	40	40,00	2,00	57,97
21		4	1	1	6	46	46,00	<b>2,19</b>	<b>66,67</b>
22			0	1	1	47	47,00	2,14	68,12
23			1	1	2	49	49,00	2,13	71,01
24			1	0	1	50	50,00	2,08	72,46
25			0	1	1	51	51,00	2,04	73,91
26			1	0	1	52	52,00	2,00	75,36
27			1	1	2	54	54,00	2,00	78,26
28			1	0	1	55	55,00	1,96	79,71
29			0	2	2	57	57,00	1,97	82,61
30			2	0	2	59	59,00	1,97	85,51
31				1	1	60	60,00	1,94	86,96

Días	Tratamiento 6				Total diario	TA	TA como % del total de semillas	PG diaria media	TA como % de semillas germinables
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>					
32			0	0	60	60,00	1,88	86,96	
33			1	1	61	61,00	1,85	88,41	
34			0	0	61	61,00	1,79	88,41	
35			1	1	62	62,00	1,77	89,86	
36			0	0	62	62,00	1,72	89,86	
37			0	0	62	62,00	1,68	89,86	
38			3	3	65	65,00	1,71	94,20	
39			0	0	65	65,00	1,67	94,20	
40			1	1	66	66,00	1,65	95,65	
41			0	0	66	66,00	1,61	95,65	
42			1	1	67	67,00	1,60	97,10	
43			0	0	67	67,00	1,56	97,10	
44			2	2	69	69,00	1,57	100,00	
45				0	69	69,00	1,53	100,00	

TA: Total acumulado.

PG: Porcentaje de germinación.

**Tabla 25.** Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 7.

Días	Tratamiento 7				Total diario	TA	TA como % del total de semillas	PG diaria media	TA como % de semillas germinables
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>					
1					0	0	0,00	0,00	0,00
2					0	0	0,00	0,00	0,00
3					0	0	0,00	0,00	0,00
...					...	...	...	...	...
16		6		3	9	9	9,00	0,56	50,00
17					0	9	9,00	0,53	50,00
18			6		6	15	15,00	0,83	83,33
19	3				3	18	18,00	<b>0,95</b>	<b>100,00</b>
20					0	18	18,00	0,90	100,00
21					0	18	18,00	0,86	100,00

TA: Total acumulado.

PG: Porcentaje de germinación.

**Tabla 26.** Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 8.

Días	Tratamiento 8				Total diario	TA	TA como % del total de semillas	PG diaria media	TA como % de semillas germinables
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>					
1					0	0	0,00	0,00	0,00
2					0	0	0,00	0,00	0,00
3					0	0	0,00	0,00	0,00
...					...	...	...	...	...
16	3	3			6	6	6,00	0,38	54,55
17		1			1	7	7,00	0,41	63,64
18		2	1	1	4	11	11,00	<b>0,61</b>	<b>100,00</b>
19					0	11	11,00	0,58	100,00
20					0	11	11,00	0,55	100,00

TA: Total acumulado. PG: Porcentaje de germinación.

**Tabla 27.** Porcentaje y energía germinativa del tratamiento 9.

Días	Tratamiento 9				Total diario	TA	TA como % del total de semillas	PG diaria media	TA como % de semillas germinables
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>					
1					0	0	0,00	0,00	0,00
2					0	0	0,00	0,00	0,00
3					0	0	0,00	0,00	0,00
...					...	...	...	...	...
16					0	0	0,00	0,00	0,00
17					0	0	0,00	0,00	0,00
18	1	3	1	2	7	7	7,00	0,39	63,64
19				0	0	7	7,00	0,37	63,64
20				1	1	8	8,00	0,40	72,73
21				0	0	8	8,00	0,38	72,73
22				1	1	9	9,00	0,41	81,82
23				0	0	9	9,00	0,39	81,82
24				2	2	11	11,00	<b>0,46</b>	<b>100,00</b>
25					0	11	11,00	0,44	100,00
26					0	11	11,00	0,42	100,00

TA: Total acumulado. PG: Porcentaje de germinación.

## Anexo B. Panel fotográfico



**Figura 12.** Distribución de semillas de *S. macrophylla* por prueba de estrés.



**Figura 13.** Siembra de semillas de *S. macrophylla* por tratamiento.



**Figura 14.** Primeras semillas de *S. macrophylla* germinadas.



**Figura 15.** Germinación de semillas de *S. macrophylla* en su apogeo.



**Figura 16.** Término de la instalación de la investigación en semillas de *S. macrophylla* por pruebas de estrés.



**Figura 17.** Evaluación *in situ* de la investigación en semillas de *S. macrophylla*.



**Figura 18.** Medición inicial de altura de plántulas de *S. macrophylla*.



**Figura 19.** Medición inicial de longitud de raíz de plántulas de *S. macrophylla*.



**Figura 20.** Llenado de sustrato en bolsas de polietileno para plántulas de *S. macrophylla*.



**Figura 21.** Estaqueo de bolsas para trasplante de plántulas de *S. macrophylla*.



**Figura 22.** Trasplante de plántulas de *S. macrophylla* a bolsas.



**Figura 23.** Plántulas de *S. macrophylla* trasplantadas.



**Figura 24.** Plántulas de *S. macrophylla* acomodada en la cama de cría.



**Figura 25.** Plántulas de *S. macrophylla* prendidas.



**Figura 26.** Evaluación final longitud de raíz de plántulas de *S. macrophylla*.



**Figura 27.** Evaluación final de altura de plántulas de *S. macrophylla*.