

**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**



**CENTRO DE POSTGRADOS  
MAESTRÍA EN SILVICULTURA  
MENCIÓN MANEJO Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS  
FORESTALES**

**TÍTULO A OBTENER: MAGISTER EN SILVICULTURA**

**Proyecto de innovación**

**RESPUESTA GERMINATIVA DE SEMILLAS DE *Cedrela odorata* L. A  
DIFERENTES NIVELES DE pH**

**AUTORA: Ivonne Rocío Jalca Zambrano**

**DIRECTOR: Dr. Yasiel Arteaga Crespo, PhD**

**Puyo – Ecuador**

**2019**

# DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Ivonne Rocío Jalca Zambrano con cédula de identidad 1715330658, declaro ante las autoridades educativas de la Universidad Estatal Amazónica, que el contenido del Proyecto de innovación titulado: **“RESPUESTA GERMINATIVA DE SEMILLAS DE *Cedrela odorata* L. A DIFERENTES NIVELES DE pH”**, es absolutamente original, auténtico y personal.

En tal virtud y según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente, certifico libremente que los criterios y opiniones que constan en el Proyecto de innovación son de exclusiva responsabilidad de la autora; y que los resultados expuestos pertenecen a la Universidad Estatal Amazónica.

---

Ivonne Rocío Jalca Zambrano

**C.I. 1715330658**

AUTORA



# UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

## Centro de Postgrados

### AVAL

Quien suscribe PhD. Yasiel Arteaga Crespo, Director del trabajo de titulación, modalidad Proyecto de innovación titulado: “*RESPUESTA GERMINATIVA DE SEMILLAS DE Cedrela odorata L. A DIFERENTES NIVELES DE pH*” a cargo de la Ing. Ivonne Rocío Jalca Zambrano egresada de la primera cohorte de la Maestría en Silvicultura mención Manejo y Conservación de Recursos Forestales de la Universidad Estatal Amazónica.

Certifico haber acompañado el proceso de elaboración del Proyecto de Innovación y considero cumple los lineamientos y orientaciones establecidas en la normativa vigente de la institución por lo que se encuentra listo para ser sustentado.

Por lo antes expuesto se avala el Proyecto de innovación para que sea presentado ante la Dirección de Posgrado como forma de titulación como Magister en Silvicultura mención Manejo y Conservación de Recursos Forestales y que dicha instancia considere el mismo a fin de que tramite lo que corresponda.

Para que a si conste, firmo la presente a los 18 días del mes de junio del 2019.

Atentamente,

---

**Dr. Yasiel Arteaga Crespo, PhD**

**DIRECTOR DE PROYECTO**

**DOCENTE TITULAR UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**



**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**  
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND



Oficio No. 011-SAU-UEA-2019

Puyo, 17 de junio de 2019

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El trabajo de investigación correspondiente a la Ing. JALCA ZAMBRANO IVONNE ROCIO, con C.I. 1315330658, con el Tema: **“Respuesta germinativa de semillas de Cedrela odorata L. a diferentes niveles de pH”**, de la maestría en Silvicultura, Mención Manejo y Conservación de Recursos Forestales, cohorte I, Director de proyecto PhD. Yasiel Arteaga Crespo, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 6 %, Informe generado con fecha 17 de junio de 2019 por parte del director, conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,



Ing. Italo Marcelo Lara Pilco MSc.  
**ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .**

## **CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL**

**EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN  
CERTIFICA QUE:**

El presente trabajo: **RESPUESTA GERMINATIVA DE SEMILLAS DE *Cedrela odorata* L. A DIFERENTES NIVELES DE pH**, bajo la responsabilidad de la egresada Ing. Ivonne Rocío Jalca Zambrano, ha sido meticulosamente revisada, autorizando su presentación:

---

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL  
Dr. Yudel García Quintana, PhD**

---

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL  
Dra. Alexandra Torres Navarrete, PhD**

---

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL  
Dr. Luis Bravo Sánchez, PhD**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a Dios por darme la vida, por ser la luz que guía mi camino y fuerza para cumplir con las metas y anhelos deseados.

A la Universidad Estatal Amazónica por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de formar parte de esta prestigiosa Institución

Al Centro de Postgrados, especialmente al Dr. Yudel García Quintana, PhD Director del Centro de Postgrados de la Universidad Estatal Amazónica, a la Dra. Dunia Chavez Esponda, PhD Coordinadora del Programa de la Maestría en Silvicultura mención en Manejo y conservación de Recursos Forestales.

Al Dr. Yasiel Arteaga Crespo, PhD Director de este trabajo de titulación por su perseverancia y apoyo incondicional para la culminación de la investigación.

A mis compañeros de maestría, en especial a mi amigo y compañero Pablo Aguirre por su apoyo valioso en este trabajo de titulación, a mi amiga Mercedes Patiño por su apoyo incondicional en esta etapa de mi vida y a todos los que de una u otra forma contribuyeron para la culminación de este trabajo de investigación.

**Ivonne**

## **DEDICATORIA**

A mis hijos Mateo Alejandro e Ian Alberto, mis razones de vivir, mis fortalezas, a Uds. hijos amados que han hecho de cada sonrisa ilumine mi vida y sen mi pan de vida, su amor libera mi mente de todas las adversidades que se presentan y los “te amo mamá” me den la felicidad más grande de este mundo.

A mi ejemplo de vida, a ti madre amada, luchadora e invencible que tú ejemplo de vida y fortaleza me has demostrado que, aunque tus pies ya no puedan avanzar tu fortaleza hace que ellos avancen cada día, porque aún tienes mucho camino por hacer para que nosotros tus hijos sigamos tus pasos de amor y bien con los demás.

A ti padre amado, que te has convertido en mi mejor amigo, quién con tus pasos un poco lento sigues detrás de mí para protegerme, e inventas cosas para sacarme muchas sonrisas, quién cree en mis sueños y los apoyas.

A mi hermana Vanessa a quién amo mucho, más que una hermana es mi mejor amiga quién siempre está incondicionalmente, quién ha dado amor de madre a mi hijo Mateo, como apoyo incondicional para poder superarme profesionalmente y culminar esta meta. A ti hermana porque nacimos de la mejor raíz de una bella flor y a pesar de estar distante y dirigirnos en diferente dirección, nuestro punto de nacimiento nos mantendrá siempre unidas con el mejor de los lazos “el lazo del amor”

A mis hermanos Christian, David, Mayra y Paola por sus palabras de apoyo y su amor de hermanos.

**Ivonne**

## RESUMEN EJECUTIVO

El propósito de esta investigación fue evaluar la respuesta germinativa de semillas de *Cedrela odorata* a diferentes niveles de pH. Se realizaron medidas morfométricas y se controló la germinación diaria en placas de petri con algodón esterilizado como soporte. Cada tratamiento estuvo conformado por 75 semillas con tres repeticiones. Para evaluar el efecto del pH en la germinación se prepararon disoluciones acuosas a pH ácidos de 2, 4 y 6 empleando ácido clorhídrico y disoluciones básicas a pH de 8 y 10 con hidróxido de sodio y un testigo. Los resultados de la prueba de tetrazolio mostraron un 90% de semillas viables como indicador de la calidad fisiológica. Se comprobó a partir de las métricas largo, ancho, largo del ala y espesor que el material seminal pertenecía a una misma muestra estadística con una distribución normal. El análisis de las propiedades geométricas indicó bajo índice de esfericidad. El pH presentó un efecto significativo sobre los parámetros germinativos. Se encontró que la especie fue tolerante a un amplio intervalo de pH, con mayores porcentajes de germinación de 6-8 y la mayor afectación de observó a pH muy ácidos o muy alcalinos 2 y 10. Se comprobó una alta correlación entre la velocidad germinativa y la capacidad germinativa. Estos resultados pueden servir como directrices para los protocolos de propagación específicos de la especie y la conservación *ex situ* de sus poblaciones.

Palabras claves: Germinación, viabilidad, vigor, pH.



## ABSTRACT

The object of this research was to evaluate the germinative response of *Cedrela odorata* seeds at different pH levels. Morphometric measurements were carried out and daily germination was controlled on petri plates with sterilized cotton as a support. Each treatment consisted of 75 seeds with three repetitions. To evaluate the effect of pH on germination, aqueous solutions were prepared at pH 2, 4 and 6 acids using hydrochloric acid and basic solutions at pH 8 and 10 with sodium hydroxide and a control. The results of the tetrazolium test showed 90% viable seeds as an indicator of physiological quality. It was found from the metrics long, wide, wing length and thickness that the seminal material belonged to the same statistical sample with a normal distribution. Analysis of geometric properties indicated low spherical index. The pH had a significant effect on germ parameters. It was found that the species was tolerant at a wide pH range, with higher germination percentages of 6-8 and the higher involvement of observed at very acidic or highly alkaline pH 2 and 10. A high correlation was found between germination rate and germination capacity. These results can serve as guidelines for protocols for the specific propagation of the species and the *ex situ* conservation of its populations.

Keywords: Germination, viability, vigor, pH.

# TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 PROBLEMA .....	2
1.2 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1.3 OBJETIVOS .....	2
1.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE .....	3
2.2 CALIDAD DE LA SEMILLAS .....	5
2.2.1 GERMINACIÓN .....	6
2.2.2 VIABILIDAD .....	8
2.2.3 VIGOR .....	9
2.3 FACTORES QUE INCIDEN EN LA GERMINACIÓN DE LA SEMILLAS ...	10
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	12
3.1 LOCALIZACIÓN .....	12
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	13
3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN .....	13
3.4 TRATAMIENTO DE DATOS .....	14
3.4.1 PARÁMETROS MORFOLÓGICOS Y GEOMÉTRICOS .....	14
3.4.2 PARÁMETROS GERMINATIVOS .....	15
3.4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	17
3.5 RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES.....	17
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA SEMILLA DE <i>C. odorata</i> .....	18
4.1.1 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LAS SEMILLAS DE LA ESPECIE <i>C. odorata</i> .....	18
4.1.2 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA Y ANATÓMICA DE LAS SEMILLAS... ..	19
4.2 VIABILIDAD Y VIGOR DE LAS SEMILLAS DE <i>C. odorata</i> .....	22
4.3 EFECTO DEL pH SOBRE LOS PARÁMETROS GERMINATIVOS DE SEMILLAS DE <i>C. odorata</i> . .....	23

4.3.1 CURVAS DE GERMINACIÓN ACUMULADA.....	23
4.3.2 VELOCIDAD GERMINATIVA (ÍNDICE DE TIMSON) .....	25
CONCLUSIONES .....	27
RECOMENDACIONES .....	28
BIBLIOGRAFÍA.....	29
ANEXOS.....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas de árboles semillero de <i>C. odorata</i> .....	13
Tabla 2. Estadísticos descriptivos para variables morfológicas de las semillas de <i>C. odorata</i> .....	19
Tabla 3. Correlación de Pearson entre variables morfológicas de <i>C. odorata</i> .....	19
Tabla 4. Estadísticas descriptivas para parámetros geométricos y de superficie de semilla de <i>C. odorata</i> .....	20
Tabla 5. Correlación de Pearson entre parámetros geométricos de semillas de <i>C. odorata</i> . .....	21

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de los árboles semilleros de <i>C odorata</i> .....	12
Figura 2. Corte longitudinal con bisturí para evaluar tinción.....	15
Figura 3. Preparación y procedimiento de evaluación de semillas de árboles y arbustos... ..	15
Figura 4. Distribución de las métricas relacionadas con la forma y tamaño de las semillas de <i>C. odorata</i> . Largo de la semilla (a), largo del ala (b), espesor (c) y ancho (d).....	18
Figura 5. Anatomía externa e interna de las semillas de <i>C. odorata</i> .....	20
Figura 6. Distribución de las métricas relacionadas con parámetros geométricos y de superficie de la semilla de <i>C. odorata</i> . .....	21
Figura 7. Patrón de tinción (a) y categorías de vigor (b) de semillas de <i>C. odorata</i> sometidas a la prueba de tetrazolio.....	22
Figura 8. Porcentaje de germinación acumulada de semillas de <i>C. odorada</i> durante 35 días a pH 2, 4, 6, 7, 8 y 10 (a). Germinación final a los 35 días a diferentes pH. Semillas germinadas (c). Los datos se representan como valores medios $\pm$ D.E. Los valores que tienen letras distintas son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). .....	24
Figura 9. Efecto del pH sobre la velocidad germinativa (Índice de Timson) en semillas de <i>C. odorata</i> (a). Correlación de Pearson entre el porcentaje de semillas germinadas y la velocidad de germinación (b). .....	25

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

*Cedrela odorata* L. (cedro), especie forestal de importancia económica a nivel mundial, debido a su amplia distribución geográfica, su madera considerada muy fina, de durabilidad natural, con excelentes características de trabajabilidad que la convierte en un material sumamente versátil, siendo usada para; fabricar muebles tallados, instrumentos musicales, enchapados, contrachapados, canoas y en la construcción de viviendas, como puertas, tablas, postes, vigas y pilares (de la Torre *et al.*, 2008).

Debido a sus múltiples usos y características de su madera se ha convertido en una de las maderas más aprovechadas y comercializadas a nivel mundial de manera legal e ilegal, lo que ha conllevado a la disminución crítica de la especie en ambientes naturales en ciertos países y se encuentran en peligro de extinción dentro de las categorías por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y dentro del Apéndice III de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES) prohibiendo su comercio internacional. En Ecuador *C. odorata* permaneció en veda durante el período 2007 – 2011 mediante Registro oficial N° 18 de febrero del 2007 y N° 517 del 29 de agosto del 2009, actualmente el aprovechamiento de esta especie está condicionado, sin embargo, no existe rodales ni plantaciones que permitan el aprovechamiento bajo la modalidad de condicionado (MAE, 2007; MAE, 2009; CITES, 2017; UICN, 2017)

*C. odorata* es la principal especie en la Amazonía y costa ecuatoriana utilizada en actividades de reforestación, incentivos forestales, restauración ecológica, en potreros, margen de vías, linderos y ensayos agroforestales, áreas en proceso de restauración, pero no se han reportado plantaciones forestales comerciales exitosas debido al ataque de *Hypsipilla grandella*. El material genético propagado en vivero es colectado mayormente de árboles adultos sin realizar selección de fuentes semilleras lo que no ha garantizado en parte el éxito de los árboles y plantaciones establecidas.

Pese a los esfuerzos de los programas de reforestación y restauración en Ecuador no se ha evaluado sus poblaciones naturales y tampoco existen reportes de regeneración natural, lo

que limita la conservación y establecimiento de este importante recurso forestal. Los estudios realizados en *C. odorata* no han evaluado la plasticidad ecológica germinativa, así como parámetros germinativos morfométricos en las condiciones donde predominan suelos con pH básicos y ácidos, en la Amazonía ecuatoriana. Estas respuestas permitirán establecer protocolos de germinación y propagación de la especie para suplir las necesidades de los programas de forestación y reforestación en suelos degradados.

## **1.1 PROBLEMA**

¿Cómo afectan los niveles de pH en la repuesta germinativa de *C. odorata*?

## **1.2 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

Los niveles extremos de pH afectan los parámetros germinativos de *C. odorata*

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la respuesta germinativa de semillas de *C. odorata* a diferentes niveles de pH como directrices para los protocolos de propagación y conservación *ex situ* de las poblaciones de la especie.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar los parámetros morfométricos de la semilla de *C. odorata*
- Determinar la viabilidad y vigor de semilla de *C. odorata*.
- Determinar el efecto de pH sobre los parámetros germinativos de semillas de *C. odorata*.

## CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Sapindales
Familia:	Meliaceae
Género:	Cedrela
Especie:	<i>C. odorata</i> L.

**Sinónimos:** *C. adenophylla* Mart; *C. brachystachya* (C. DC.) C. DC; *C. brownii* Loefl, *C. brownii* Loefl. ex Kuntze; *C. caldasana* C. DC; *C. ciliolata* S.F. Blake; *C. cubensis* Bisse; *C. dugesii* S. Watson; *C. glaziovii* C. DC; *C. guianensis* A. Juss; *C. hassleri* (C. DC.) C. DC. *C. huberi* Ducke; *C. imparipinnata* C. DC; *C. longipes* S.F. Blake; *C. longipetiolulata* Harms *C. mexicana* M. Roem; *C. mexicana* var. *puberula* C. DC; *C. mourae* C. DC; *C. occidentalis* C. DC. & Rose; *C. odorata* var. *xerogeiton* Rizzini & Heringer; *C. palustris* Handro; *C. paraguariensis* Mart; *C. paraguariensis* var. *brachystachya* C. DC; *C. paraguariensis* var. *hassleri* C. DC; *C. paraguariensis* var. *multijuga* C. DC; *C. rotunda* S.F. Blake; *C. sintenisii* C. DC; *C. velloziana* M. Roem; *C. whitfordii* S.F. Blake, *C. yucatanana* S.F. Blake; *S. brownii* Kuntze; *S. glaziovii* (C. DC.) Kuntze; *S. guianensis* (A. Juss.) Kuntze; *S. mexicana* (M. Roem.) Kuntze; *S. paraguariensis* (Mart.) Kuntze; *S. velloziana* (M. Roem.) Kuntze (de la Torre *et al.*, 2008).

**Nombres comunes:** Cedro muyu (castellano-kichwa), shaga'tto (a'ingae), ma mäa, äasoquë, po mäa (pai coca), godewadewe (wao tededo), kunkuín numi, seetur (shuar chicham), kanu (achuar chicham), cedro, cedro blanco, cedro cara, cedro colorado, cedro cubano, pamba cedro, suegro (castellano), west indian cedar (inglés) (de la Torre *et al.*, 2008).

**Descripción botánica:** Árbol dioico, hasta 50 m de altura y 1,5 m de DAP, raíces tablares



(grandes y gruesa en árboles adultos); caducifolio; corteza exterior fuertemente fisurada con canales pardo - rojizos en árboles de áreas disturbadas; corteza interior rosada con varias laminillas sobrepuestas, fragante. Ramitas terminales lenticeladas. Ramitas jóvenes pardas, con lenticelas alargadas o circulares y cicatrices agrupadas de escamas caídas. Yemas cubiertas por varias escamas ovadas. Hojas alternas, paripinadas o imparipinadas con un pecíolo cilíndrico, 0.4-1 m de largo. Folíolos 5-12 pares, 5-13 x 2.5-4 cm, oblongos, ligeramente curvos y con la base asimétrica, típicamente glabros. Inflorescencia una panícula, hasta 40 cm de largo. Flores cremas, 6-12 mm de largo. Cápsula oblonga, 3-6 cm de largo, leñosa, densamente lenticelada, con una columnela 5-angulada, sobre cuyos lados descansan numerosas semillas aladas. Plantas jóvenes a menudo con olor a ajo. (Palacios, 2016).

En Ecuador se han reportados diversos usos referentes a las diversas etnias tales como; la corteza, macerada en alcohol, se usa como condimento de bocadillos (Kichwa de la Sierra-Loja). El fruto es alimento de papagayos y guantas (Agouti paca) (Wao-Orellana). El tallo se utiliza para elaborar platos para lavar oro y tazones para chicha (Wao-Orellana). La madera, considerada muy fina, es usada para fabricar muebles tallados, instrumentos musicales, enchapados, contrachapados, canoas y en la construcción de viviendas, como puertas, tablas, postes, vigas y pilares (Sucumbíos, Loja, Morona Santiago, Orellana, Napo, Pastaza, Esmeraldas, Tungurahua, Azuay, Cañar, Zamora Chinchipe). La raíz (tablar) sirve para elaborar utensilios de cocina e instrumentos musicales como violines y guitarras (Kichwa del Oriente-Napo). La ceniza de la corteza sirve para curar llagas (Kichwa del Oriente-Sucumbíos). La corteza se usa para tratar el paludismo (Shuar-Orellana) también para tratar la diarrea, vómito, fiebre, gripe, calambres, el dolor muscular, de estómago y de cuerpo (Secoya-Sucumbíos; Kichwa del Oriente-Orellana, Napo; Achuar-Pastaza) (de la Torre *et al.*, 2008).

**Estado de conservación:** CITES Appendix III - (UNEP WCMC. 2003). En peligro (EN A2cd) (Cárdenas y Salinas, 2007; IUCN, 2001). Preocupación menor (LC) (Pennington y Muellner, 2010; IUCN, 2001)

Desde el punto de vista económico, *C. odorata* ha sido empleada como un recurso maderero muy importante en América (Gentry 1996, Brown & Pacheco, 2006), con altos volúmenes

de producción al año en países como México, Cuba y Panamá (SEFORVEN, 1992, DNCB 1997). Sus patógenos naturales son las larvas de *Hypsiphylia grandella* (Lepidoptera: Pyralidae), insecto conocido como el taladrador de las meliáceas, que ataca las hojas jóvenes y puntos vegetativos y retardan su desarrollo (SEFORVEN 1992).

Según ITTO (2011), la región conformada por los países de Bolivia, Brasil y Perú (BoBraPe) posee la mayor población de *C. odorata* y de *Swietenia macrophylla* (caoba), constituyendo los principales países industriales-exportadores de productos transformados para ambas especies, marcando interdependencia los últimos años a partir del ingreso de estas especies a los Apéndice de CITES. La reducción de la oferta de la caoba por su mayor nivel de regulación en el comercio internacional generó una demanda insatisfecha en el mercado consolidado de Estados Unidos y México en el periodo 2002-2008 que fue cubierta en 2/3 partes por el cedro. La mayor contribución del cedro de BoBraPe fue en el 2007, año en que las exportaciones significaron 5,1 veces el volumen de exportación de caoba y 2,7 veces su valor económico.

## **2.2 CALIDAD DE LA SEMILLAS**

Se ha determinado que la calidad de semillas está determinada por aquellos atributos como viabilidad, germinación, vigor y sanidad, lo que garantiza que la semilla sea altamente viable, es decir es una semilla susceptible de desarrollar una plántula normal aún bajo condiciones ambientales no ideales, tal como puede ocurrir en campo (Peretti, 1994). Sin embargo, esta calidad disminuye con el transcurso del tiempo y la tasa de deterioro depende de las condiciones ambientales durante el almacenamiento y el tiempo en que estas permanecen almacenadas. Siendo el primer componente de la calidad que muestra señales de deterioro, el vigor, consecuentemente la reducción de la germinación o de la producción de plántulas normales, y finalmente la muerte de las semillas (Ferguson, 1995). En este sentido Benito-Matías *et al.*, (2004) consideran que la forma más segura de determinar la calidad de una muestra de semillas es a través de ensayos de germinación, en ambiente con condiciones controladas, ajustadas para cada especie y un lapso de tiempo.

## 2.2.1 GERMINACIÓN

Vázquez-Yanes, *et al.*, (1997) señala que la germinación de las semillas comprende tres etapas sucesivas 1) la absorción de agua por imbibición, causando su hinchamiento y la ruptura final de la testa, 2) inicio de la actividad enzimática y del metabolismo respiratorio, translocación y asimilación de reservas alimentarias en zonas en desarrollo del embrión y 3) el crecimiento y la división celular que provoca la emergencia de la radícula y posteriormente de la plántula. Las mismas que requieren de condiciones favorables o estables según la especie donde la humedad, luz, temperatura y oxígeno activen el metabolismo de la germinación, influenciada por factores externos, lo que va a reflejar su efecto tanto en la capacidad germinativa como en la velocidad de germinación. Estos autores también consideran que en los trópicos las semillas presentan tipos de germinación intermedios entre los dos descritos y tienden a germinar casi de inmediato cuando las condiciones ambientales son adecuadas. Con frecuencia, en pocos días la radícula emerge entre las cubiertas de la semilla y en pocas semanas concluye la germinación total de las semillas viables. Prácticamente estas semillas no tienen latencia y el único factor que determina la germinación es la disponibilidad de agua.

Existen diversos estudios sobre la germinación desde diferentes puntos de vista, sin embargo, no existe uniformidad en la forma de representar los resultados, ni en la profundidad del análisis, inclusive se ha intentado expresar en términos matemáticos, por lo que se han propuestos índices, fórmulas y modelos para evaluarlo y analizarlo. Los métodos de análisis de la germinación pueden diferenciarse en dos tipos: descriptivos y analíticos.

Los métodos de germinación descriptivos permiten hacer una evaluación preliminar de los resultados, estos son; gráficas de capacidad de germinación (gráfica el número final de semillas germinadas o el porcentaje final de germinación), gráficas de germinación diaria (gráfica el número de semillas que germinaron cada día), gráficas de germinación acumulada por intervalo de tiempo (gráfica la máxima capacidad de germinación y el tiempo en día en que alcanza la forma en que incrementa la germinación y su tiempo de inicio), gráficas de germinación en el tiempo (gráfica el tiempo o el recíproco del tiempo necesario para alcanzar el 25, 50, 75 y 100% de germinación acumulada del total de semillas sembradas), gráfica de la capacidad de germinación en el tiempo (gráfica el tiempo o el recíproco del tiempo

necesario para alcanzar el 25, 50, 75 y 100% de germinación acumulada del total de semillas germinadas). Estos métodos son útiles para análisis preliminares o iniciales (González y Orozco, 1996).

Los métodos analíticos consisten en la aplicación de funciones matemáticas que describen el comportamiento germinativo de las semillas, mediante el cálculo de índices de germinación estableciendo fórmulas que relacionan; el tiempo de latencia, pendiente de porción lineal, coeficiente de velocidad, tiempo promedio de germinación, valor de germinación, entre otros. Pese a los diversos índices y parámetros germinativos Bewley y Black (1994) consideran que la respuesta germinativa de las semillas puede variar en su: 1. capacidad germinativa, distribución de la germinación en el tiempo, 2. tiempo en que germina la primera semilla, tiempo promedio de germinación para la muestra o la población, 3. uniformidad, simultaneidad, o sincronía de la germinación (González y Orozco, 1996)

Díaz (2012), en sus pruebas de germinación de *Cedrela montana* con ácido giberélico en una concentración 2mg/L obtuvo una tasa de germinación de 75% y la emergencia de la radícula se inició a los 12 días; también, y el testigo obtuvo 40% de plántulas germinadas a los 20 días de cultivo.

### **2.2.1.1 PODER GERMINATIVO**

El poder germinativo se reconoce como el porcentaje de la semilla que germina en las condiciones más favorables y este se pierde cuando la semilla es incapaz de germinar, cualesquiera que sean las condiciones de germinación y los tratamientos realizados (Côme, 1970). Este valor es muy considerado en las tomas de decisiones y planificaciones puesto que sin conocer el mismo se puede obtener un material no rentable, sin embargo, muchas veces resulta muy difícil de determinar con absoluta precisión, debido a que las mejores condiciones de germinación, además de poder variar de un lote a otro, jamás pueden ser conocidas a priori.

### **2.2.1.2 VELOCIDAD DE GERMINACIÓN**

Rodríguez *et al.*, (2008) define a la velocidad de la germinación como el tiempo que necesitan las semillas para germinar, se puede expresarse con diferentes índices:

- Porcentaje de germinación: Porcentaje de semillas germinadas hasta un momento determinado.
- Período de latencia: Tiempo necesario para que se produzca la germinación de la primera semilla desde la siembra.
- Tiempo de germinación: Tiempo necesario para conseguir un porcentaje de germinación determinado. Por ejemplo, el tiempo necesario para alcanzar el 50 % (T50) o 25 % (T25) de la capacidad germinativa.
- Tiempo medio de germinación: tiempo medio para conseguir un porcentaje de germinación determinado.

### **2.2.2 VIABILIDAD**

La viabilidad de la semilla desde la perspectiva fisiológica se refiere a si la semilla contiene o no cualquier tejido con actividad metabólica, y si posee reservas energéticas y enzimas para el funcionamiento de las células de la planta (Moreira *et al.*, 1992). Otros autores consideran a la capacidad que tiene de permanecer viva, de manera que, cuando se necesite, germine y produzca una plántula capaz de generar un crecimiento autotrófico. La viabilidad de la semilla depende de algunos factores y aspectos tales como: el tipo de semillas (ortodoxa, recalcitrante o intermedia), las semillas con testa dura mantienen su viabilidad por mayor tiempo y casi en cualquier tipo de condiciones, ya que la cubierta las mantiene secas y libres de insectos, en cambio las semillas de cubiertas delgadas están más expuestas al ambiente y a factores biológicos que reducen su viabilidad, por lo que requieren de buen ambiente de almacenamiento donde se debe controlar la temperatura y el contenido de humedad con el fin de evitar la aparición de hongos y plagas, puesto que las semillas totalmente maduras y libres de plagas son las que se preservan por mayor tiempo. La viabilidad de las semillas almacenadas depende de: 1) factores genéticos, 2) madurez del fruto y de las semillas, 3) condiciones ambientales óptimas de almacenamiento y 4) sobrevivencia de las semillas de acuerdo a su viabilidad inicial. Finalmente, la viabilidad de

las semillas se comprueba considerando el porcentaje de germinación en diferentes lotes. Un 30% de germinación, indica que las semillas no se encuentran en buen estado (Napier, 1985; Schmidt, 2000; Hong y Ellis, 2003).

Para la determinación de la viabilidad de la semilla existen diferentes test; a) germinación, en el que se considera viable una semilla que germinará cuando se coloca en condiciones adecuadas de humedad, luz y temperatura, b) test del tetrazolio basada en un cambio de coloración de los tejidos vivos en presencia de una solución de la sal de cloruro de 2, 3,5-trifeniltetrazolio, las semillas que se tiñen se consideran viables y c) radiografía con rayos X, mediante radiografías en donde se pueden diferenciar entre semillas sin embriones (semillas vanas), de las que tienen un embrión bien formado; así como distinguir si en el embrión existen malformaciones o algún tipo de daños: mecánicos, por insectos, etc.

Barone *et al.*, (2016) evaluó la viabilidad de *Cedrela fissilis* Vell. mediante prueba de tetrazolio obteniendo  $70,00 \pm 12,44$  %, Prueba del índigo carmín  $73,33 \pm 6,67$  % y Prueba de Cloruro férrico  $70,00 \pm 5,00$  % de semillas viables. Espitia-Camacho *et al.*, (2017) en su estudio sobre las características morfométricas, anatómicas y viabilidad de semillas de *C. odorata*. y *Cariniana pyriformis* Miers, determinó la viabilidad mediante el test de tetrazolio resultando como mejor con 86% de semillas viables la concentración al 1% durante dos horas, la misma que fue ratificada mediante las pruebas de germinación, en las cuales los porcentajes estimados no presentaron diferencias significativas. Este porcentaje de viabilidad concuerda (Díaz *et al.*, 2010) donde indica que se puede almacenar las semillas de *C. odorata* hasta 304 días con 86% de viabilidad a 2°C de temperatura y 4% de contenido de humedad.

### **2.2.3 VIGOR**

La International Seed Testing Association (1995) definió que el vigor de las semillas es la sumatoria total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y el comportamiento de las semillas o de un lote de semillas durante la germinación y emergencia de las plántulas, consideradas de alto vigor aquellas que muestren un buen comportamiento

como a) tasa y uniformidad de germinación de semillas y crecimiento de plántulas; b) comportamiento en el campo, incluyendo la tasa y uniformidad de la emergencia de las plántulas y c) comportamiento después del almacenamiento y transporte, particularmente la disminución de la capacidad de germinación. Barone *et al.*, (2016) evaluó la vialidad de *C. fissilis* mediante prueba de conductividad eléctrica individual obteniendo  $75\pm 7,91$  % de semillas viables.

## **2.3 FACTORES QUE INCIDEN EN LA GERMINACIÓN DE LA SEMILLAS**

El proceso de germinación está influenciado tanto por factores internos (viabilidad del embrión, la cantidad y calidad del tejido de reserva y los diferentes tipos de dormancia) como externos (grosor de la testa, disponibilidad de agua, temperatura y tipos de luz). Uno de los factores más importantes que inciden en el proceso de germinación es la humedad, donde la absorción de agua es el primer paso, y el más importante, que tiene lugar durante la germinación; porque para que la semilla recupere su metabolismo es necesaria la rehidratación de sus tejidos. Sin embargo, la deshidratación no afecta negativamente a las semillas, las cuales pueden posteriormente volver a hidratarse y reiniciar el proceso de germinación. No obstante, en algunas especies, una deshidratación prolongada puede implicar la transformación de las semillas en "semillas duras", que se caracterizan porque se inhiben muy lentamente. Un exceso de agua también puede llegar a ser desfavorable al dificultar la llegada de oxígeno al embrión. Otro factor de importancia es la temperatura mínima sería aquella por debajo de la cual la germinación no se produce, y la máxima aquella por encima de la cual se anula igualmente el proceso. La temperatura óptima, intermedia entre ambas, puede definirse como la más adecuada para conseguir el mayor porcentaje de germinación en el menor tiempo posible. (Azcon y Talón 1993; Russo *et al.*, 2010).

Por otro lado, es importante identificar las propiedades del suelo debido a su nivel acidez limita el desarrollo de las plantas, así como la movilización y la solubilidad de los componentes en la planta y pH del medio, entre otros (Jones y Jacobsen, 2001). La adecuada toma de nutrientes depende de dos factores fundamentalmente, de la capacidad de las raíces para absorber nutrientes y de la disponibilidad de los mismos en el medio. Niveles de pH

extremas pueden afectar negativamente a las plantas; por ejemplo, el calcio, fósforo y magnesio son menos disponibles para las semillas en suelos de pH bajo, mientras que el aluminio y manganeso se encuentran disponibles en niveles tóxicos en suelos de pH alto. Turner *et al.*, (2016) encontró que el aumento de la acidez afecta negativamente la germinación y el crecimiento de plántulas de *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud. Se produjo una correlación positiva entre el pH del tratamiento y la germinación máxima, sin que se observara germinación por debajo del pH 4-0. Aunque las semillas en los tratamientos de pH más bajo germinaron más rápidamente el crecimiento de la raíz ocurrió más lentamente. De manera similar, el crecimiento reducido de las plántulas fue evidente en los suelos con pH 4 5 recolectados en el sitio de la mina.



## CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 LOCALIZACIÓN

El estudio se realizó en el laboratorio de Biología de la Universidad Estatal Amazónica, ubicado en provincia y cantón de Pastaza, Km 2 ½ vía Tena, de coordenadas S 01°28'02.8" W 77°59'47.6". El material seminal fue colectado de 23 árboles con característica semilleras (con DAP entre 20 a 60 cm y altura entre 10 y 30 m), cada árbol se consideró como una familia de medios hermanos en la provincia de Pastaza, cantones Mera y Pastaza (Figura 1).

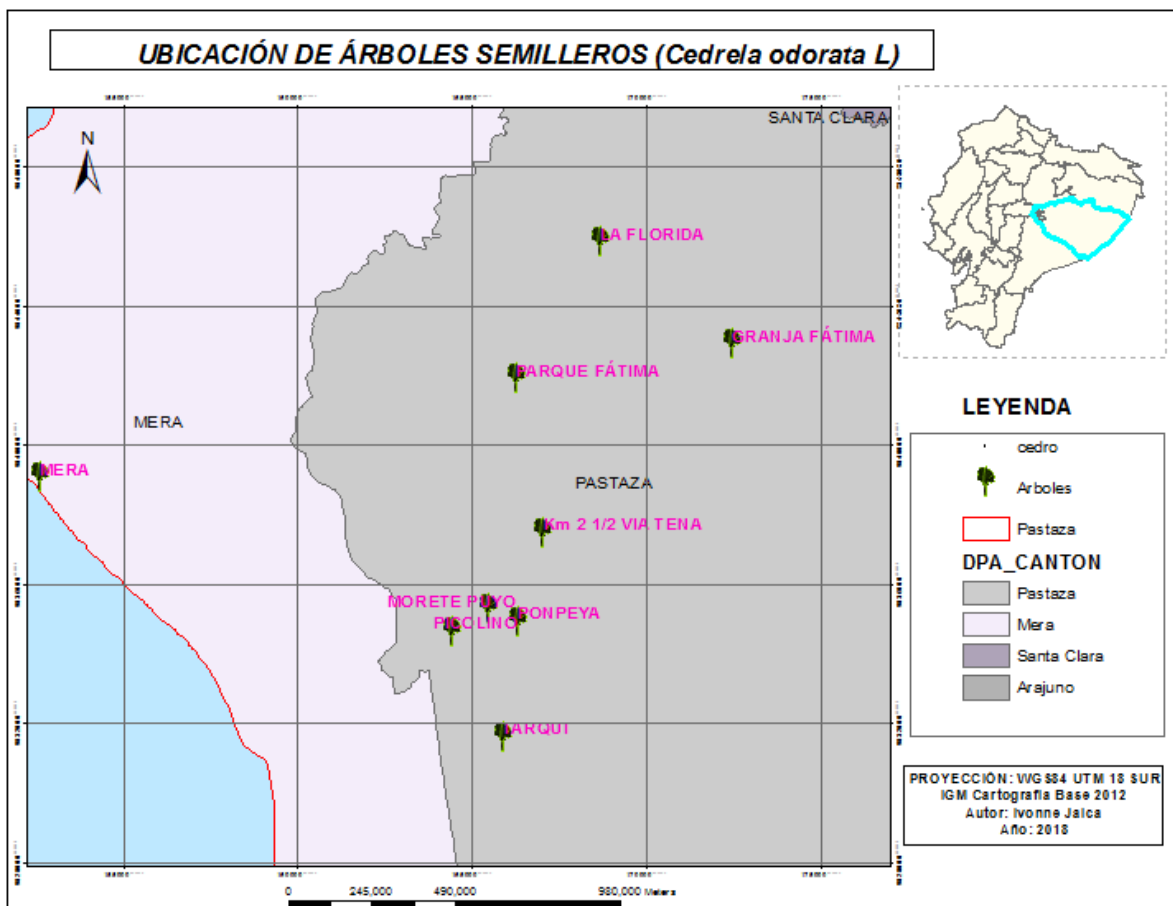


Figura 1. Ubicación geográfica de los árboles semilleros de *C. odorata*.

En la Tabla 1 se representan las coordenadas geográficas DATUM WGS 84, Zona 18 Sur de los árboles semilleros de *C. odorata*.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de árboles semillero de *C. odorata*

No.	Cantón	Sector	Coordenadas geográficas	
			X	y
1	Pastaza	La Florida	168648	9845754
2	Pastaza	Parque Fátima	166239	9841822
3	Pastaza	Granja Fátima	172424	9842827
4	Pastaza	Picolino	164407	9834577
5	Pastaza	Morete Puyo	165439	9835216
6	Pastaza	Pompeya	166305	9834860
7	Pastaza	Tarqui	165851	9831551
8	Pastaza	Mera	152602	9838990
9	Mera	Km 2 ½	167007	9837413

### 3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación fue descriptiva y experimental. Se considera descriptiva porque se realizó la descripción de las variables morfométricas de las semillas de *C. odorata* (largo, largo del ala, ancho y grosor), así como la comprobación del porcentaje de viabilidad y la interpretación de los patrones topológicos de viabilidad de las semillas. Se consideró experimental porque comprendió la manipulación de variables, en este caso se realizó la aplicación de disoluciones acuosas a diferentes pH y se evaluó su efecto sobre parámetros germinativos.

### 3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Los métodos de investigación empleados fueron; observación, medición y experimental

Observación: donde se observó la reacción de las semillas mediante cambio de coloración con la prueba de viabilidad de tetrazolio a una concentración de 1% durante dos horas a 40 °C en estufa.

Medición: se realizó la medición de los parámetros morfológicos de las semillas, largo,

ancho y grosor. Además, se tomaron datos numéricos del proceso de germinación y la influencia del pH, lo que permitió obtener información del proceso que se estudió asociado a la germinación.

Experimental: Se realizó un diseño de bloques completos al azar con la aplicación de seis tratamientos con tres réplicas.

## 3.4 TRATAMIENTO DE DATOS

### 3.4.1 PARÁMETROS MORFOLOGÍCOS Y GEOMÉTRICOS

Para la caracterización se procedió a limpiar manualmente las semillas y se eliminó la materia extraña como; piedras, tierra y semillas rotas. Se seleccionaron aleatoriamente 600 semillas, posterior se identificó las partes esenciales de las semillas como embrión, endospermo y cubierta seminal, se midió tres dimensiones lineales, es decir, longitud, largo del ala, ancho y grosor, utilizando un pie de rey digital STANLEY con una precisión de lectura de 0,01 mm.

El diámetro geométrico medio  $D_e$  se determinó usando la ecuación proporcionada por Mohsenin, (1970).

$$D_e^3 = LWT$$

donde:  $L$  es la longitud en mm,  $W$  es la anchura en mm,  $T$  es el espesor en mm.

Mientras la esfericidad  $\phi$  fue determinada por:

$$\phi = WT/L^2$$

El área de la superficie  $S$  fue determinada por la relación dada por McCabe *et al.*, (1986):

$$S = \pi D_e^2$$

### 3.4.2 PARÁMETROS GERMINATIVOS

Se determinó la viabilidad mediante prueba bioquímica topográfica de tetrazolio en una solución acuosa de cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio al 1,0 % según ISTA (2016). Previamente eliminó las alas de las semillas y se remojaron en agua en un período de 24 horas a temperatura ambiente. Se evaluó una muestra de 100 semillas (25 semillas por caja petri), se sumergieron en 30 ml de solución de tetrazolio al 1% por caja petri a temperatura de 40°C en estufa durante 1 hora. Para determinar las semillas viables y no viables, se examinó y evaluó cada semilla sobre la base de los modelos de tinción y la solidez del tejido revelado según ISTA (2016) Figura 2. Se consideró viables a las semillas que se tiñeron por completo, o teñidas sólo en parte, según los patrones de tinción como indican que las estructuras esenciales están viables como muestra la Figura 3. y no viables aquellas que no cumplen con los requisitos antes descritos y, además, incluye semillas que revelan poco su característica coloración y/o estructuras esenciales flácidas.

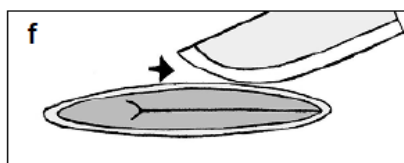


Figura 2. Corte longitudinal con bisturí para evaluar tinción.

Fuente: ISTA, (2016).

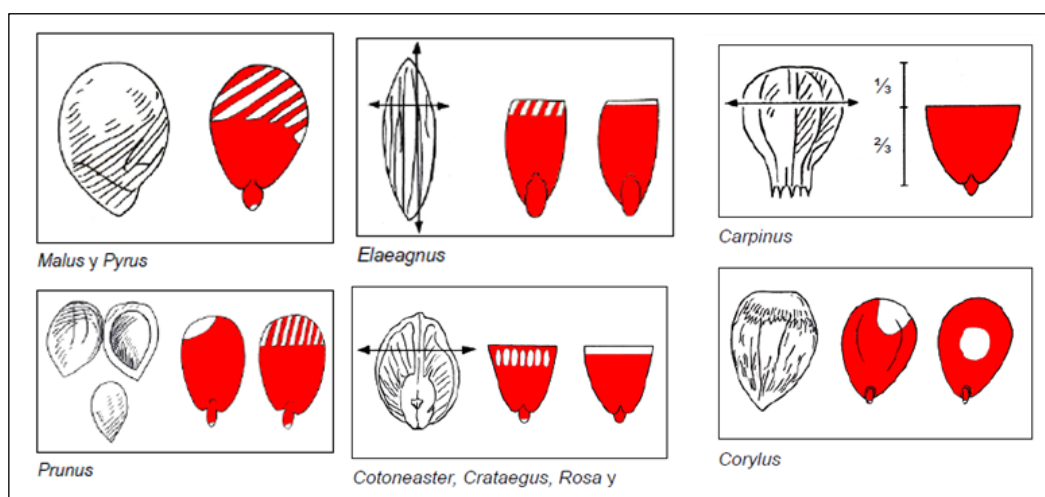


Figura 3. Preparación y procedimiento de evaluación de semillas de árboles y arbustos.

Fuente: ISTA, (2016).

El vigor se evaluó según metodología propuesta por Gallo *et al.*, (2016) quién considera que las semillas de vigor alto: corresponden aquellas que mostraron un aspecto completamente teñido de coloración rojizo, para el vigor medio las semillas presentan áreas menores de color rojizo sin tinción, con tejidos necróticos o flácidos de poca profundidad. Semillas consideradas de vigor bajo son las que presentan mayores o múltiples áreas menores de color rojizo, sin tinción con tejidos necróticos o flácidos de una extensión mayor y no vigorosas: Semillas con radícula deteriorada sin coloración (blanco lechoso) por lo tanto, tejido muerto.

Para determinar los efectos de los niveles de pH en la germinación se esterilizaron las semillas con disolución de hipoclorito de sodio al 3%, para evitar ataques de hongos, colocándolas durante 1 minuto en contacto con la disolución. Posteriormente fueron lavadas con agua destilada y se secaron al aire antes de usar en los experimentos de germinación. Las semillas aisladas fueron germinadas en placas de petri que contenían algodón esterilizado. Cada ensayo fue con 75 semillas, tres repeticiones de 25 semillas, con alrededor de ocho y diez semillas por placa petri.

Se prepararon disoluciones acuosas a pH ácidos de 2, 4 y 6, empleando ácido clorhídrico y disoluciones básicas a pH de 8 y 10 con hidróxido de sodio. Como testigo se empleó agua destilada con pH 7. Cada disolución, más el agua destilada, conformó un tratamiento, para un total de seis. El ensayo se realizó en cámara de germinación (DIURNAL PLANT GROWTH CHAMBER (SRI21D) durante 35 día con fotoperíodo 12 horas luz y 12 horas oscuridad y un termoperíodo de 30 °C en horas luz y 15 °C en horas de oscuridad. Se consideró que una semilla había germinado con la emergencia de la radícula mayor a > 1 mm (Bewley y Black, 1994).

La evolución de la germinación se siguió durante un treinta y cinco días calculando el porcentaje de germinación acumulada diaria (Ndour et Danthu, 1998). La tasa de germinación se estimó utilizando un índice de velocidad de germinación de Timson modificado  $\Sigma G/t$ , donde G es el porcentaje de germinación de semillas en intervalos de 2 días, y t es la germinación total (Timson, 1965).

### **3.4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS**

Los datos se analizaron utilizando el programa SPSS versión 22. Las métricas relacionadas con la forma y tamaño de las semillas se analizaron mediante estadísticos descriptivos y curvas de distribución normal. El efecto del pH fue analizado mediante el análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de Tukey para estimar las diferencias significativas entre los tratamientos. Las diferencias se consideraron significativas cuando  $p < 0,05$ . Se determinó el coeficiente de correlación de Pearson entre el porcentaje de semillas germinadas y la velocidad de germinación. Los gráficos fueron realizados con el software Origin 2016.

### **3.5 RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES**

Para la ejecución de esta investigación participaron un grupo de personas en la fase de laboratorio y campo. Los materiales empleados para la ejecución logística y materiales de laboratorio y de campo; caja petri, estufa, pipetas, balanza analítica, cámara germinadora, bisturí, reactivos, microscopio/ estereoscopio, agua destilada, agua esterilizada, algodón, mandil, guantes, mascarilla, machete, espodón, calibrador pie de rey, cinta diamétrica, libreta de campo, hojas de registro de germinación diaria, marcadores, saco de yute, fundas, navegador GPS.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA SEMILLA DE *C. odorata*

#### 4.1.1 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LAS SEMILLAS DE LA ESPECIE *C. odorata*

Las variables morfométricas, largo de la semilla, largo del ala, ancho, espesor y relación ancho-largo medidas en 600 semillas indicaron una distribución normal (Figura 4). Estos resultados garantizaron controlar el factor morfológico en el ensayo y la variabilidad de los resultados únicamente estuvo influenciada por el pH de experimento.

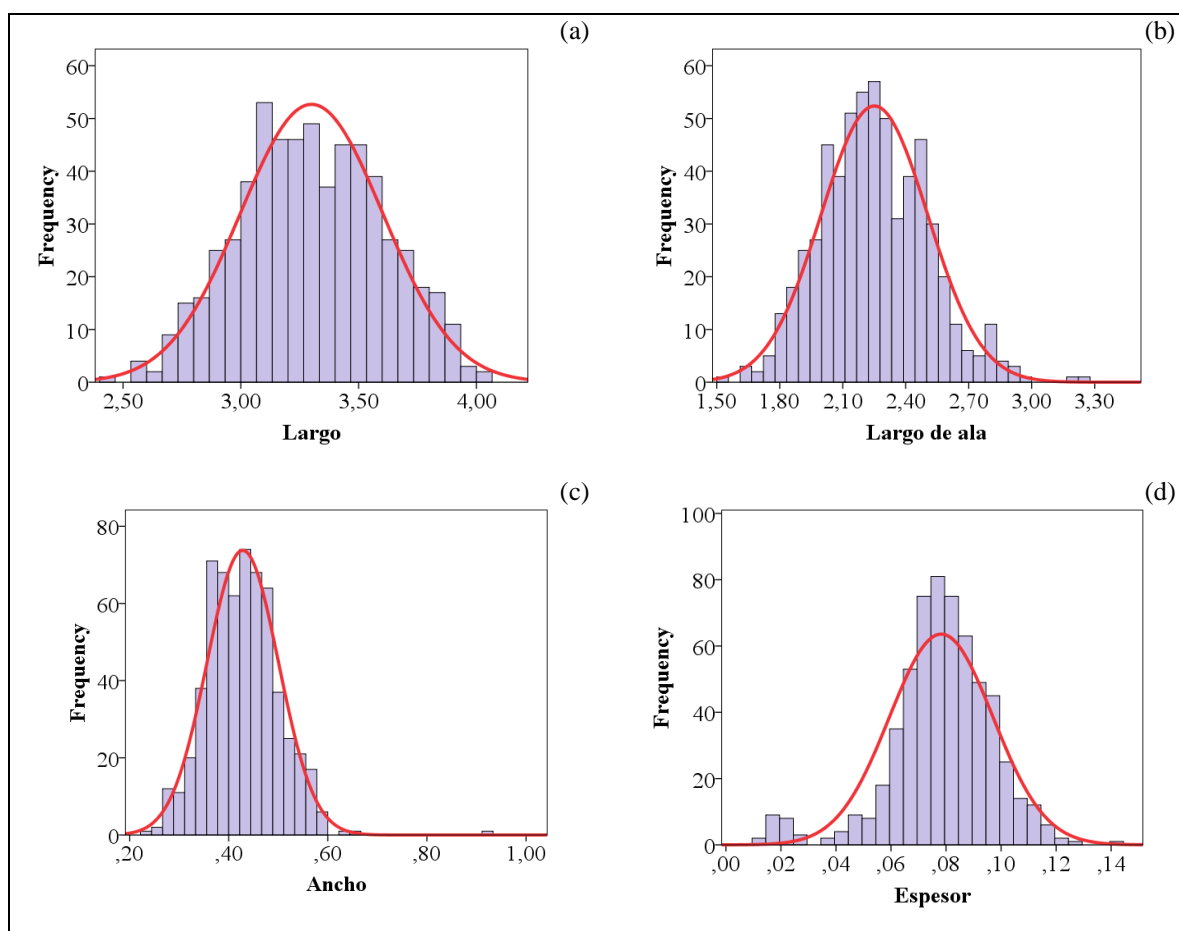


Figura 4. Distribución de las métricas relacionadas con la forma y tamaño de las semillas de *C. odorata*. Largo de la semilla (a), largo del ala (b), espesor (c) y ancho (d).

## 4.1.2 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA Y ANATÓMICA DE LAS SEMILLAS

La descripción morfométrica de las semillas de *C. odorata* mostraron poca variabilidad en los componentes analizados. Las características morfoanatómicas presentaron un ancho de semillas promedio de  $0,44 \pm 0,08$  cm, largo de semillas promedio de  $3,09 \pm 0,1$  cm sin incluir el ala, el largo del ala  $2,05 \pm 0,19$  y el espesor de la semilla  $0,06 \pm 0,0$  (Tabla 2), semejantes a los reportados por Alderete-Chavez *et al.* (2005), para largo y ancho de las semillas, cuyos valores fueron de 2,60 cm y 0,36 cm, respectivamente; quienes señalaron la existencia de una gran variación genética en la especie. Por su lado Espitia-Camacho *et al.*, 2017 reportaron valores superiores, lo cual está en función de su capacidad reproductiva, asociada a efectos genéticos y ambientales, debido a diferencias de viabilidad y fertilidad del polen, y receptividad estigmática (Mendizábal-Hernández *et al.*, 2012; 2013).

Tabla 2. Estadísticos descriptivos para variables morfológicas de las semillas de *C. odorata*

Variable	Media	Min.	Máx.	Varianza	Desviación estándar	IC (95%)	
						LI	LS
Largo (cm)	3,30	2,44	4,06	0,092	0,30	3,28	3,32
Largo del ala (cm)	2,25	1,52	3,23	0,064	0,25	2,23	2,27
Ancho (cm)	0,43	0,23	0,91	0,005	0,07	0,42	0,43
Espesor (cm)	0,08	0,01	0,14	0,000	0,02	0,08	0,08

La correlación entre las variables morfológicas, analizadas mediante el coeficiente de correlación de Pearson indicó baja correlación (Tabla 3). Estos resultados permitieron interpretar que las semillas de *C. odorata* de la región amazónica ecuatoriana no presentan una morfología correlacionada. Solo se encontró correlación entre largo de la semilla y el largo del ala.

Tabla 3. Correlación de Pearson entre variables morfológicas de *C. odorata*

	Largo	Ancho	Largo del ala	Espesor
Largo	1	0,347	<b>0,722</b>	0,188
Ancho		1	0,297	0,09
Largo del ala			1	0,214
Espesor				1



En la estructura interna, el embrión resultó axial, recto y espatulado, de color blanco; con los dos cotiledones planos. El endospermo fue delgado, uniforme (Figura 5), características que concuerdan con las reportadas para esta misma especie.

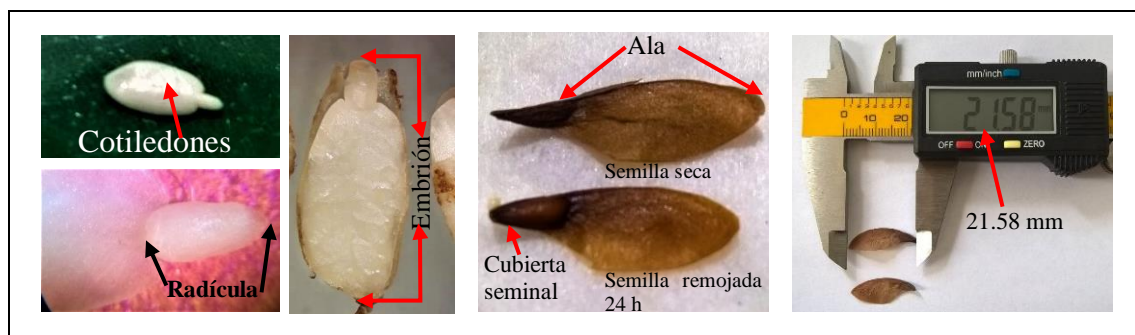


Figura 5. Anatomía externa e interna de las semillas de *C. odorata*

El valor de todas las propiedades geométricas y superficie de semillas de *C. odorata* se resume en la Tabla 4. Estos parámetros presentaron mayor variabilidad en comparación con las variables morfológicas y la más alta correspondió al área superficial. El diámetro medio geométrico osciló entre 2,23 y 6,23 mm, mientras que el área superficial entre 15,61 y 121,92 mm<sup>2</sup>. La esfericidad de las semillas fue baja, lo que muestra la forma plana de las semillas. Estos resultados concuerdan con lo planteado por algunos autores, que indicaron que las semillas de esta especie son de forma ovoide, comprimidas y planas (Stoffers, 1984; Montiel *et al.*, 2014).

Tabla 4. Estadísticas descriptivas para parámetros geométricos y de superficie de semilla de *C. odorata*

Variable	Media	Min.	Máx.	Varianza	Desviación estándar	IC (95%)	
						LI	LS
Diámetro geométrico (mm)	4,75	2,23	6,23	0,37	0,60	4,70	4,79
Esfericidad	0,003	0,0003	0,007	0,000	0,0009	0,003	0,003
Área superficial (mm <sup>2</sup> )	72,09	15,61	121,92	288,974	16,99	70,73	73,45

En la Tabla 5 se puede observar que existe alta correlación entre los parámetros geométricos y el área superficial de la semilla.

Tabla 5. Correlación de Pearson entre parámetros geométricos de semillas de *C. odorata*.

	<b>Diámetro geométrico</b>	<b>Esfericidad</b>	<b>Área superficial</b>
Diámetro geométrico	1	0,61	0,99
Esfericidad		1	0,69
Área superficial			1

La distribución normal de las variables diámetro geométrico, esfericidad y área superficial (Figura 6) reafirma que x las semillas empleadas en el experimento corresponden a una misma población muestral.

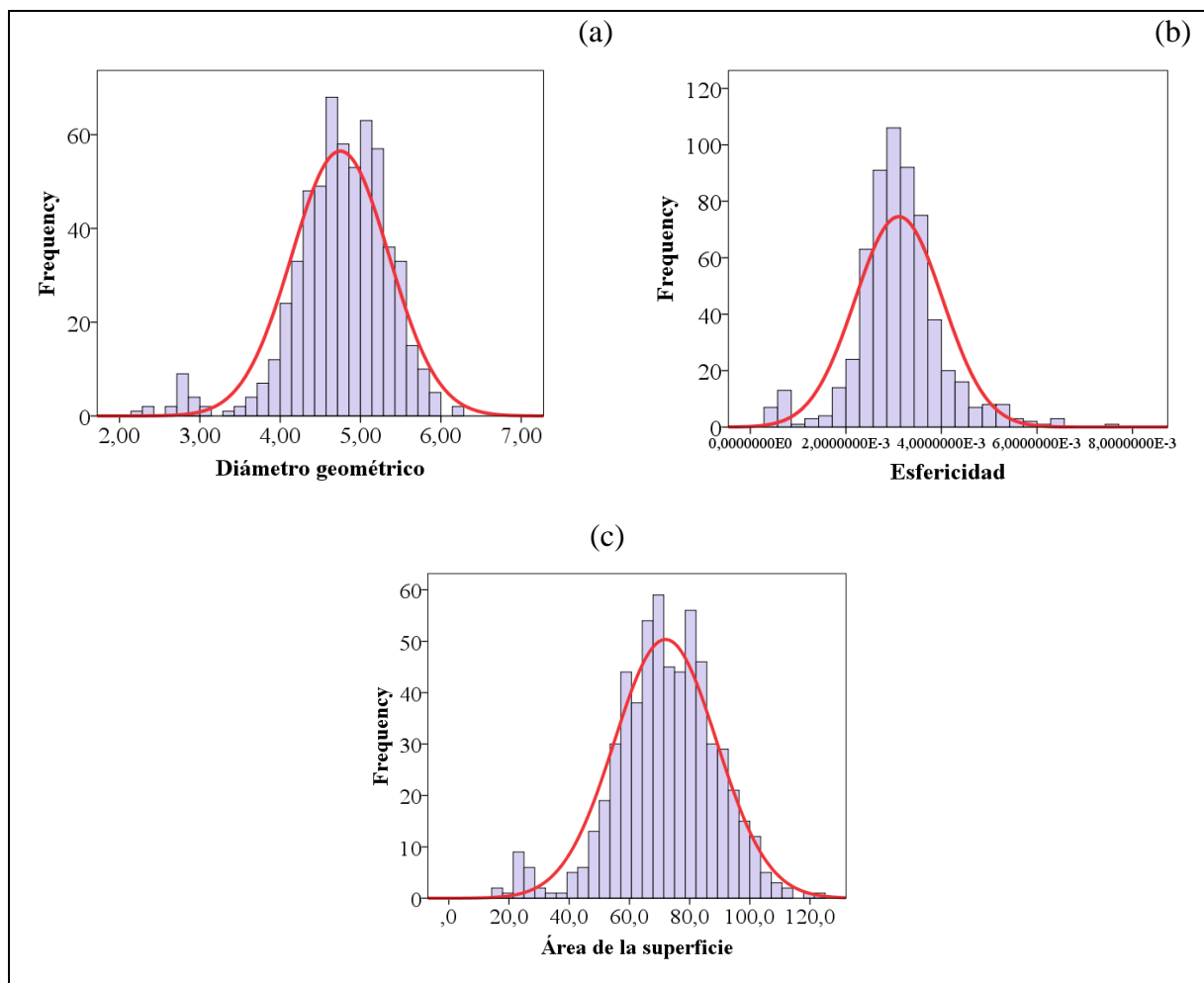


Figura 6. Distribución de las métricas relacionadas con parámetros geométricos y de superficie de la semilla de *C. odorata*.

## 4.2 VIABILIDAD Y VIGOR DE LAS SEMILLAS DE *C. odorata*.

Las semillas mostraron variaciones en la intensidad de la tinción (Figura 7), el 90% resultaron viables, dividida entre el 72% de vigor alto y el 18% de vigor medio, pero ambas categorías fueron consideradas como semillas viables. Mientras solo el 10% resultaron no viables. La disolución de la sal de tetrazolio permitió determinar la presencia, localización y naturaleza de las alteraciones de los tejidos de las semillas (Lima *et al.*, 2010; ISTA, 2014), produciéndose en los tejidos vivos trifenil formazan, que identifica la actividad respiratoria de las mitocondrias, y como resultado mostró que hay viabilidad celular. Por lo tanto, el color rojo en los embriones fue un indicador positivo de la viabilidad de las semillas (Craviotto *et al.*, 2008). Las regiones débilmente coloreadas en algunas partes del embrión, indicaron que las células presentaron una disminuida actividad respiratoria y, por consiguiente, menor actividad de enzimas deshidrogenasas (Rao *et al.*, 2007; Rodríguez *et al.*, 2008).

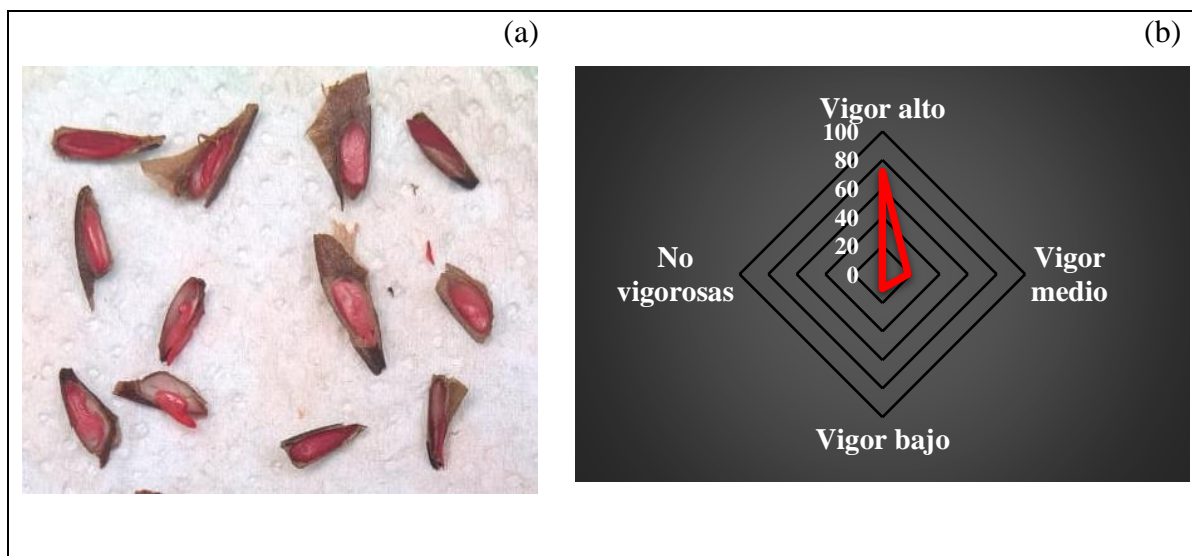


Figura 7. Patrón de tinción (a) y categorías de vigor (b) de semillas de *C. odorata* sometidas a la prueba de tetrazolio.

## **4.3 EFECTO DEL PH SOBRE LOS PARÁMETROS GERMINATIVOS DE SEMILLAS DE *C. odorata*.**

### **4.3.1 CURVAS DE GERMINACIÓN ACUMULADA**

El pH del suelo es un factor importante y ha sido objeto de muchos estudios con respecto a la germinación de semillas de las malezas (Koger *et al.*, 2004; Nakamura y Hossain, 2009; Ebrahimi y Eslami, 2012), pastizales (Li *et al.*, 2010; Gao *et al.*, 2011; Basto *et al.*, 2013), y especies de árboles (Redmann y Abouguendia 1979). Además, las respuestas de germinación a disoluciones de diferentes pH se han utilizado para identificar la aclimatación o la capacidad potencial de las especies de plantas para establecerse en suelos ácidos, neutros o alcalinos.

Las curvas de cinética de germinación de las semillas de *C. odorata* mostraron un comportamiento similar para pH 6, 7 y 8, de igual manera para los pH 4 y 10 (Figura 8a). El período de latencia duró entre 12 y 13 días y el porcentaje de germinación osciló entre 0 y 90%. Los resultados más bajos se observaron a pH 2 con germinación nula. Al aumentar el pH, la germinación aumentó a un valor máximo de 90%, pero disminuyó cuando el pH del medio superó el adecuado (Figura 8b). Esta respuesta, a las variaciones de pH, podría atribuirse al efecto inhibitorio de la acidez y la basicidad sobre las enzimas catalíticas involucradas en el proceso de germinación (Laghmouchi *et al.*, 2017).

Los resultados obtenidos mostraron que las semillas de *C. odorata* pueden germinar a un intervalo de pH ácido a alcalino, con mayores porcentajes entre valores de 6 a 8. Sin embargo, la germinación se produjo en una condición de pH entre 4 y 10, pero la máxima se observó a pH = 7, que se calificó como el pH idóneo de la germinación con valores superiores al 80%, que en relación al número de semillas viables representaría un valor próximo al 100%. Las semillas de *C. odorata* no germinaron a un pH muy ácido (pH = 2), probablemente porque el medio ácido no promueve la síntesis o porque inhibe la acción de las enzimas necesarias para la germinación de esta especie. Además, el pH ácido puede tener un efecto directo al disolver la cubierta de la semilla y un efecto indirecto que implica condiciones estimulantes para el desarrollo de algunas especies de hongos cuya acción causa

la perforación de la cubierta seminal (Vleeshouwers *et al.*, 1995).

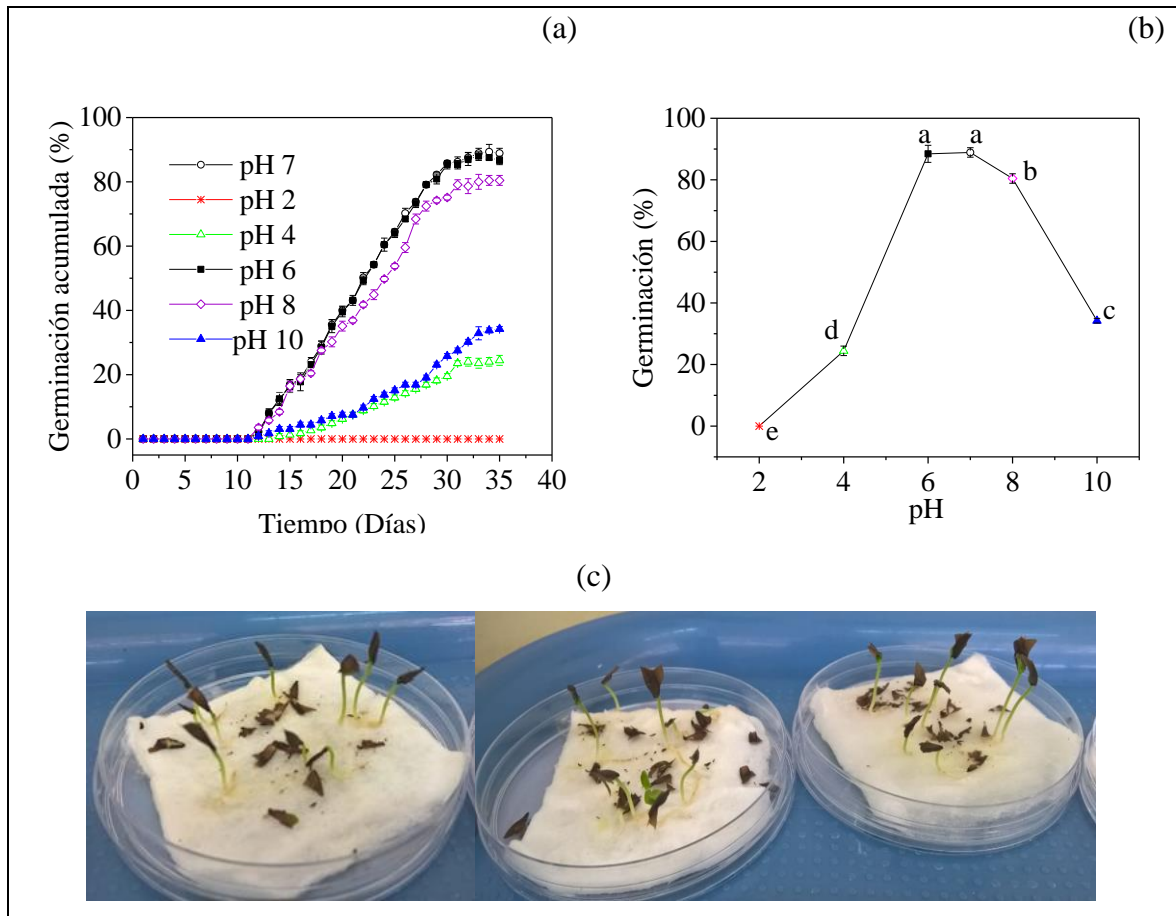


Figura 8. Porcentaje de germinación acumulada de semillas de *C. odorata* durante 35 días a pH 2, 4, 6, 7, 8 y 10 (a). Germinación final a los 35 días a diferentes pH. Semillas germinadas (c). Los datos se representan como valores medios  $\pm$  D.E. Los valores que tienen letras distintas son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

Estos resultados concuerdan con reportes previos, por ejemplo, en un estudio del efecto de la lluvia ácida simulada sobre la germinación, daño foliar, contenido de clorofila y crecimiento de plántulas de cinco especies de madera dura que Fan y Wang, (2000) observaron que el porcentaje de la germinación presentó efectos significativos del tratamiento con tres especies, cuya germinación se inhibió notablemente con una disolución ácida de pH 2. Provocó una reducción de la germinación en 51,09%, 76,61% y 56,32% para *Cinnamomum camphora* L, *Castanopsis fissa* Rehd. et Wils y *Koelreuteria bipinnata* Franch, respectivamente. Pero los otros tratamientos no produjeron impactos estadísticamente significativos en la germinación, excepto en el caso de *C. fissa*, que mostró

una ligera inhibición a pH 5. Sin embargo, para todas las especies, la exposición continua a una disolución de pH 2 después de que las semillas germinaron causó que los brotes primarios y las raíces de las plántulas tiernas se pudrieran gradualmente, lo que llevó a una emergencia de plántulas muy baja.

Los efectos potenciales del pH extremadamente bajo en la germinación han sido registrados para semillas de varias especies (McColl y Johnson, 1983; Moore y Gillette).

### 4.3.2 VELOCIDAD GERMINATIVA (ÍNDICE DE TIMSON)

La velocidad de germinación analizada, utilizando el cálculo del Índice de Timson modificado, mostró que la tasa en semillas de *C. odorata* disminuyó cuando el pH fue extremo, es decir valores muy ácidos de 2 a 4 y muy básicos con valor 10 (Figura 9a). Por lo tanto, la mayor velocidad de germinación se obtuvo para las semillas tratadas con disoluciones entre pH 6 a 8. Valores muy bajos del índice de Timson demuestran la dificultad de las semillas para germinar y mientras mayor sea el valor, indica que más rápida es la germinación (Pliszko & Kostrakiewicz-Gierałt, 2018). El coeficiente de correlación de Pearson evidenció la alta correlación entre este índice y el porcentaje de semillas germinadas (Figura 9b).

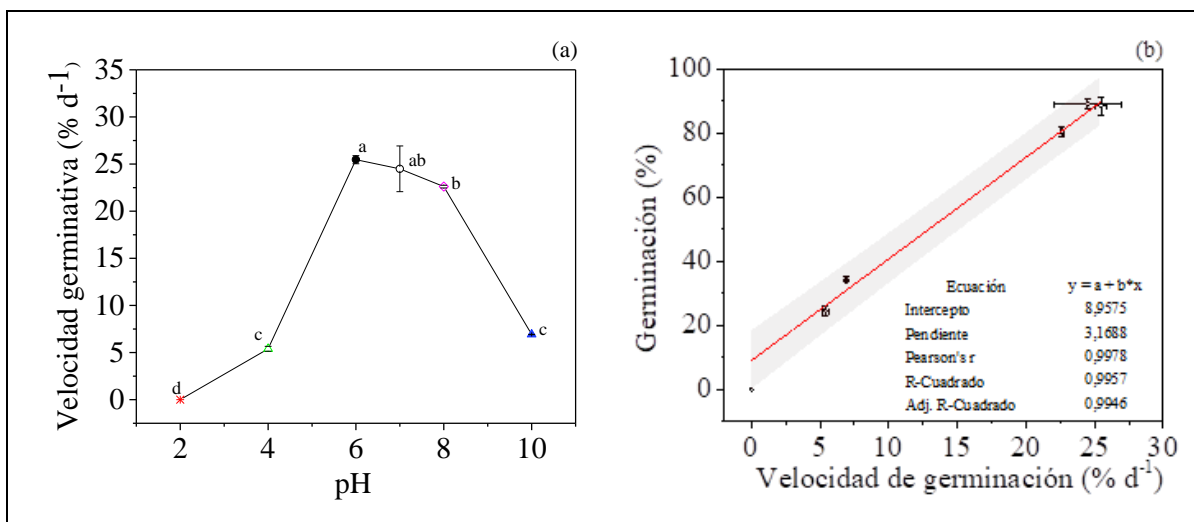


Figura 9. Efecto del pH sobre la velocidad germinativa (Índice de Timson) en semillas de *C. odorata* (a). Correlación de Pearson entre el porcentaje de semillas germinadas y la velocidad de germinación (b).

El índice de velocidad germinativa o Índice de Timson ha sido ampliamente utilizado para investigar el efecto de diferentes parámetros sobre la velocidad germinativa, por ejemplo, los efectos interactivos del estrés salino y alcalino (Li *et al.*, 2010), influencia de la estratificación fría (Pliszko y Kostrakiewicz-Gierałt, 2018), efecto de la salinidad y factores químicos (Meot-Duros y Magné, 2008; Nedjimi y Zemmiri, 2019, Zhang *et al.*, 2019), efectos de la heterogeneidad del color de las semillas (Gairola, *et al.*, 2018), régimen de sequía, temperatura y luz (Elnaggar, *et al.*, 2018; Melendo y Giménez, 2019), la sequía, el fotoperíodo y el termoperíodo (Elgabra. *et al.*, 2019).

## CONCLUSIONES

- Los parámetros morfológicos relacionados con el largo, ancho, largo del ala y espesor de las semillas de *C. odorata* no presentaron correlación significativa, lo que indicó que estas no tienen una forma definida, aunque presentaron una distribución normal.
- Las características morfoanatómicas de las semillas de *C. odorata* presentaron valores promedios de 0,44 cm de ancho, 3,09 cm de largo, 2,05 cm de largo del ala y 0,06 cm de espesor, como reflejo de una alta variación genética en la especie.
- Se demostró mediante la prueba de tetrazolio al 1% que las semillas presentaron un alto porcentaje de viabilidad (90%) con poca variación en los niveles de tinción, indicador de la calidad fisiológica de las semillas.
- Los niveles de pH afectaron la germinación de manera significativa, evidenciando que *C. odorata* tiene alta plasticidad ecológica, ya que tolera un amplio intervalo de pH desde los 6 hasta los 8.
- Se comprobó que los valores extremos de pH (2 y 10) afectaron considerablemente la capacidad de germinación y velocidad germinativa de la especie *C. odorata*. Estos resultados son apropiados para la propagación y conservación ex situ de las poblaciones de la especie en las condiciones amazónicas.



## RECOMENDACIONES

- Socializar los resultados de esta investigación estableciendo protocolos de tinción, germinación y propagación específicos para la especie.
- Profundizar en investigaciones referentes con niveles de tolerancia de pH en condiciones de campo y crecimiento de plantas en vivero de la especie en estudio.
- Establecer protocolos de propagación y conservación *ex situ* para las poblaciones de *C. odorata* de manera tal que permita su establecimiento en diferentes condiciones edáficas en la Amazonía ecuatoriana.

## BIBLIOGRAFÍA

- Chavez, Á. A., de la Cruz Landero, N., & de la Torre, J. E. G. (2005). Variación en semillas de *Cedrela odorata* L. procedentes de los estados de Campeche y Tabasco, México. *Foresta Veracruzana*, 7(2), 41-44.
- Craviotto, M., Arango, M., & Gallo, C. (2008). Topographic tetrazolium test for soybean. Ediciones INTA, ARG.
- de la Torre, L., H. Navarrete, P. Muriel M., M.J. Macía & H. Balslev (eds.). 2008. Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador. Herbario QCA de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador & Herbario AAU del Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Aarhus. Quito & Aarhus.
- del Carmen Mendizábal-Hernández, L., Ramírez, J. M., Alba-Landa, J., Ramírez-García, E., & Cruz-Jiménez, H. (2012). Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Cedrela odorata* L. *Foresta Veracruzana*, 14(2), 31-36.
- Espitia-Camacho, M., Araméndiz-Tatis, H., & Cardona-Ayala, C. (2017). Características morfométricas, anatómicas y viabilidad de semillas de *Cedrela odorata* L. y *Cariniana pyriformis* Miers. *Agronomía Mesoamericana*, 28(3), 605-617.
- Gallo, C; Franca – Neto, J.B; Arango, M; Gonzalez, S. ; Francomano, V.; Carracedo, C. ; Costa, O. ; Alvez, R.; Magnano, L.; Craviotto, R. (2016). Prueba de tetrazoli como método de vigor para semillas de *Glycine max*. Propuesta de validación del método para ISTA.
- ISTA (International Seed Testing Association). 2016. International rules for seed testing. 2016 ed. ISTA, Bassersdorf, SUI.
- Koger, C. H., Reddy, K. N., & Poston, D. H. (2004). Factors affecting seed germination, seedling emergence, and survival of texasweed (*Caperonia palustris*). *Weed science*, 52(6), 989-995.
- Laghmouchi, Y., Belmehdi, O., Bouyahya, A., Senhaji, N. S., & Abrini, J. (2017). Effect of temperature, salt stress and pH on seed germination of medicinal plant *Origanum compactum*. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 10, 156-160.
- Lima, L. B., Pinto, T. L. F., & Novembre, A. D. D. L. C. (2009). Avaliação da viabilidade e do vigor de sementes de pepino pelo teste de tetrazólio. *Informativo Abrates*, 19(2), 557.
- Marcos, J. & ríos, MC 2017. *Cedrela odorata*. La Lista Roja de especies amenazadas 2017:

e.T32292A68080590. <http://dx.doi.org/10.2305/>

- Mendizábal-Hernández, L. D. C., Hernández Viveros, J. J., & Alba-Landa, J. (2013). Estudio de conos y semillas de *Cedrela odorata* L. en una generación parental y una generación filial. *Foresta Veracruzana*, 15(1).
- Montiel, J., Espitia, M., & Araméndiz, H. (2014). Secado, tolerancia a la desecación y viabilidad de semillas de cinco especies forestales nativas en Córdoba. In *Memorias XLIV Congreso Nacional de COMALFI (Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal): la fisiología vegetal en la producción de las plantas forrajeras*. COMALFI, Montería, COL (p. 48).
- Rao, N. K., Hanson, J., Dulloo, M. E., & Ghosh, K. (2007). *Manual para el Manejo de Semillas en Bancos de Germoplasma (Manuales para Bancos de Germoplasma No. 8)*. Bioversity International.
- Rodriguez Quilón, I., Adam, G., & Durán, J. M. (2008). Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas. *Agricultura: Revista Agropecuaria*, 78(912), 836-842.
- Stoffers, A. L. (1984). *Cedrela odorata* L. Manual de semillas de árboles tropicales. USDA, MO, USA, 375-378.
- Vleeshouwers, L. M., Bouwmeester, H. J., & Karssen, C. M. (1995). Redefining seed dormancy: an attempt to integrate physiology and ecology. *Journal of Ecology*, 1031-1037.
- Nakamura, I., & Hossain, M. A. (2009). Factors affecting the seed germination and seedling emergence of redflower ragleaf (*Crassocephalum crepidioides*). *Weed biology and management*, 9(4), 315-322.
- Ebrahimi, E., & Eslami, S. V. (2012). Effect of environmental factors on seed germination and seedling emergence of invasive *Ceratocarpus arenarius*. *Weed Research*, 52(1), 50-59.
- Li, R., Shi, F., & Fukuda, K. (2010). Interactive effects of salt and alkali stresses on seed germination, germination recovery, and seedling growth of a halophyte *Spartina alterniflora* (Poaceae). *South African Journal of Botany*, 76(2), 380-387.
- Zhanwu, G., Hui, Z., Jicai, G., Chunwu, Y., Chunsheng, M., & Deli, W. (2011). Germination responses of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) seeds to various saltalkaline mixed stress. *African journal of Agricultural research*, 6(16), 3793-3803.

- Basto, S., Dorca-Fornell, C., Thompson, K., & Rees, M. (2013). Effect of pH buffer solutions on seed germination of *Hypericum pulchrum*, *Campanula rotundifolia* and *Scabiosa columbaria*. *Seed Science and Technology*, 41(2), 298-302.
- Fan, H. B., & Wang, Y. H. (2000). Effects of simulated acid rain on germination, foliar damage, chlorophyll contents and seedling growth of five hardwood species growing in China. *Forest Ecology and Management*, 126(3), 321-329.
- McColl, J. G., & Johnson, R. (1983). Effects of simulated acid rain on germination and early growth of Douglas-fir and ponderosa pine. *Plant and Soil*, 74(1), 125-129.
- Moore, A. M., & Gillette, A. (1988). Germination of red spruce and Fraser fir seeds exposed to simulated acid rain. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society*, 137-140.
- Pliszko, A., & Kostrakiewicz-Gieralt, K. (2018). Effect of cold stratification on seed germination in *Solidago × niedereideri* (Asteraceae) and its parental species. *Biologia*, 73(10), 945-950.
- Meot-Duros, L., & Magné, C. (2008). Effect of salinity and chemical factors on seed germination in the halophyte *Crithmum maritimum* L. *Plant and Soil*, 313(1-2), 83.
- Li, R., Shi, F., & Fukuda, K. (2010). Interactive effects of salt and alkali stresses on seed germination, germination recovery, and seedling growth of a halophyte *Spartina alterniflora* (Poaceae). *South African Journal of Botany*, 76(2), 380-387.
- Gairola, S., Shabana, H. A., Mahmoud, T., & Santo, A. (2018). Effects of seed colour heterogeneity on germination behaviour of the desert plant *Lotononis platycarpa* (Fabaceae). *Nordic Journal of Botany*, 36(3), njb-01617.
- Nedjimi, B., & Zemmiri, H. (2019). Salinity Effects on Germination of *Artemisia herba-alba* Asso: Important Pastoral Shrub from North African Rangelands. *Rangeland Ecology & Management*, 72(1), 189-194.
- Elnaggar, A., El-Keblawy, A., Mosa, K. A., & Soliman, S. (2018). Drought tolerance during germination depends on light and temperature of incubation in *Salsola imbricata*, a desert shrub of Arabian deserts. *Flora*, 249, 156-163.
- Melendo, M., & Giménez, E. (2019). Seed germination responses to salinity and temperature in *Limonium supinum* (Plumbaginaceae), an endemic halophyte from Iberian Peninsula. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 153(2), 257-263.
- González, L. Orozco, A. (1996). Métodos de análisis de datos en la germinación de semillas,

un ejemplo: *Manfreda brachytachya*. Boletín de la Sociedad Botánica de México 58:15-30.

- Zhang, H., Xiang, Y., Irving, L. J., Li, Q., & Zhou, D. (2019). Nitrogen addition can improve seedling establishment of N-sensitive species in degraded saline soils. *Land Degradation & Development*, 30(2), 119-127.
- Elgabara, M., El-Keblawy, A., Mosa, K., & Soliman, S. (2019). Factors controlling seed dormancy and germination response of *Brachypodium hybridum* growing in the hot arid mountains of the Arabian Desert. *Botany*.
- Mohsenin, N. N. (1986). *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach, New York.
- McCabe W L; Smith J C; Harriot P (1986). *Unit Operations of Chemical Engineering*. McGraw-Hill, New York.
- Bewley, J.D., Black M., 1994. *Seed. Physiology of development and germination*. Plenum Press, New York.
- Ndour, P., Danthu, P., 1998. Effet des contraintes hydriques et salines sur la germination de quelques acacias africains. In: Campa C, Grignon C, Gueye M, Hamon S, eds. *Colloques et séminaires: l'acacia au Sénégal*. Paris: Orstom. 105- 122.
- Timson J (1965) New method of recording germination data. *Nature* 207: 216–217. <https://doi.org/10.1038/207216a0>.

## ANEXOS



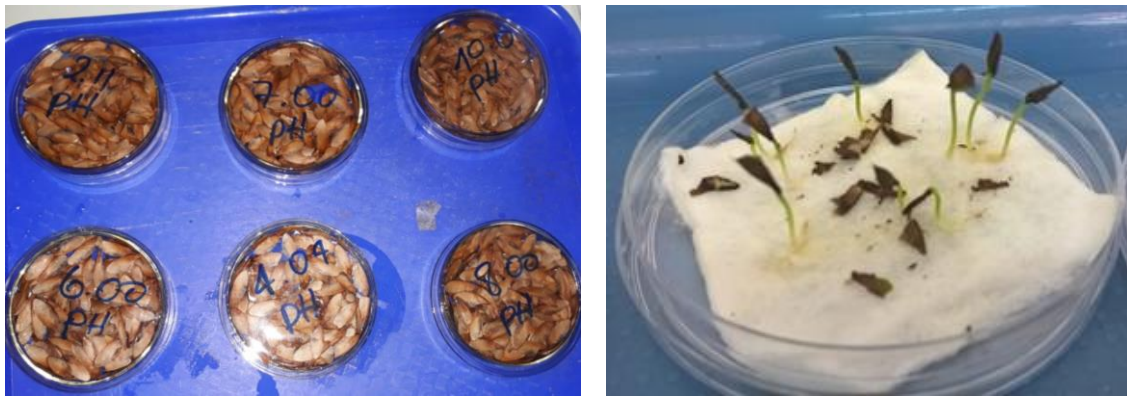
**Fotografía 1.** Reconocimiento de árboles semilleros.



**Fotografía 2.** Colecta de semillas de *C. odorata*.



**Fotografía 3.** Prueba de viabilidad de semillas de *C. odorata*



**Fotografía 3.** Prueba de germinación a diferentes niveles de pH de semillas de *C. odorata*