

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA



CENTRO DE POSTGRADOS

MAESTRÍA EN SILVICULTURA

**MENCIÓN MANEJO Y CONSERVACIÓN DE LOS
RECURSOS FORESTALES**

TÍTULO A OBTENER

MAGISTER EN SILVICULTURA

PROYECTO DE INNOVACIÓN

**Efecto de variables edáficas en la morfología y calidad de la semilla de
Cedrelinga cateniformis Ducke (Chuncho).**

Autor: Ing. Saúl Ismael Salan Torres

Director del Proyecto: PhD. Yudel García Quintana

Puyo - Ecuador

2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Saúl Ismael Salán Torres** con cédula de identidad 160040753-8, declaro ante las autoridades educativas de la Universidad Estatal Amazónica, que el contenido del Proyecto de Innovación titulado: **“EFECTO DE VARIABLES EDÁFICAS EN LA MORFOLOGÍA Y CALIDAD DE LA SEMILLA DE *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Chuncho)”**, 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 Investigación y Desarrollo son de exclusiva responsabilidad de la autora; y que los resultados expuestos pertenecen a la Universidad Estatal Amazónica.

Saúl Ismael Salán Torres

C.I.160040753-8

AUTOR

AGRADECIMIENTO

A Dios, sobre todo por darme la fuerza de poder terminar mis estudios y superar todos los inconvenientes que se tuvo que pasar.

A la Universidad Estatal Amazónica por haberme impartido conocimientos valiosos en este proceso de formación académica.

Al PhD. Yudel García, por ser quién compartió y transmitió importantes aportes en el desarrollo de la investigación.

Y a todas las personas que formaron parte del estudio, ya que con su ayuda se pudo obtener información importante para poder concluir con el objetivo propuesto.

DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada principalmente a mis padres, ya que ellos siempre han estado apoyándome en cada meta que me he propuesto dándome fuerza y amor para poder concluir la.

RESUMEN EJECUTIVO

El propósito de esta investigación fue evaluar el efecto de variables edáficas en la morfología y calidad de la semilla de *Cedrelinga cateniformis* en tres sitios (Condor Mirador, Pavayacu y Don Bosco). El trabajo se realizó a partir del control de germinación de 300 semillas con tres réplicas por sitios. Se analizó la variación morfométrica (largo, ancho y espesor) y las dimensiones ortogonales (relación largo-ancho, esfericidad, diámetro geométrico, área superficial), así como los parámetros de germinación (capacidad germinativa, vigor germinativo, velocidad de germinación y tiempo medio de germinación) y las propiedades químicas del suelo tomadas las muestras al pie de cada árbol. Las semillas tuvieron un largo promedio de 3,25 a 3,29 cm de largo, 1,59 a 1,99 cm de ancho y espesor 0,26 a 0,34. Las métricas no reflejaron variación significativa con los sitios a excepción del espesor y el índice de esfericidad. La prueba de tetrazolio reportó que son viables con valores que superan el 94%. Los parámetros relacionados con el peso de las semillas resultaron con un patrón similar para los sitios donde la máxima absorción ocurrió en las primeras 24 horas, comprobándose que son semillas sensibles a la deshidratación. La respuesta a la germinación fue homogénea en los sitios, lo cual indica que la calidad fisiológica de las semillas no es una adaptación a las características locales del hábitat de esta especie. Las propiedades edáficas fueron similares y no reflejaron un efecto significativo en los indicadores de calidad de la semilla por lo que pudiera ser un patrón propio de esta especie.

Palabras claves: *Cedrelinga cateniformis*, germinación, morfología, propiedades edáficas.

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the effect of edaphic variables on the morphology and quality of *Cedrelinga cateniformis* seed in three sites (Condor Mirador, Pavayacu and Don Bosco). The work was carried out from the germination control of 300 seeds with three replications per site. The morphometric variation (length, width and thickness) and the orthogonal dimensions (long-wigth relation, sphericity, geometric diameter, surface area), as well as germination parameters (germinative capacity, germinative vigor, germination speed and mean germination time) and the chemical properties of the soil taken samples at the foot of each tree were analyzed. The seeds had a long average of 3.25 to 3.29 cm long, 1.59 to 1.99 cm wide and 0.26 to 0.34 thick. The metrics did not reflect significant variation with the sites except for the thickness and the sphericity index. The tetrazolium test reported that they are viable with values that exceed 94%. The parameters related to the weight of the seeds resulted in a similar pattern for the sites where maximum absorption occurred in the first 24 hours, proving that they are seeds sensitive to dehydration. The response to germination was homogeneous at the sites, which indicates that the physiological quality of the seeds is not an adaptation to the local characteristics of the habitat of this species. The edaphic properties were similar and did not reflect a significant effect on the quality indicators of the seed so it could be an own pattern of this species.

Keywords: *Cedrelinga cateniformis*, germination, morphology, edaphic properties.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PROBLEMA CIENTÍFICO	2
1.2 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
CAPÍTULO II.....	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Recursos genéticos forestales	4
2.2 Estrategias para el manejo y conservación de las semillas como recurso genético forestal.....	4
2.2.1 Fuentes semilleras como mecanismo de conservación	4
2.2.2 Uso y transferencia de germoplasma	5
2.2.3 Bancos clonales	5
2.3 Realidad de los programas de semillas forestales en el Ecuador.....	6
2.4 Calidad de las semillas forestales	7
2.4.1 Análisis de pureza	8
2.4.2 Contenido de humedad.....	8
2.4.3 Peso de semilla.....	9
2.4.4 Germinación de la semilla.....	9
2.4.5 Viabilidad de las semillas.....	9
2.4.6 Vigor de las semillas	10
2.5 Características de los suelos amazónicos.....	10
2.6 Propiedades físicas del suelo	11
2.6.1 Textura del suelo	12
2.7 Propiedades químicas del suelo	12
2.7.1 pH del suelo.....	12
2.7.2 Materia orgánica.....	12
2.7.3 Nitrógeno.....	13
2.7.4 Fósforo	13
2.7.5 Potasio	13
2.7.6 Calcio	14
2.7.7 Magnesio	14

2.7.8	Hierro	14
2.7.9	Manganeso	15
2.7.10	Cobre	15
2.7.11	Zinc	15
2.8	La especie <i>Cedrelinga cateniformis</i>	16
2.8.1	Descripción taxonómica de la especie	16
2.8.2	Descripción botánica de la especie.....	16
CAPÍTULO III		20
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1	Localización.....	20
3.2	Tipo de Investigación.....	21
3.3	Método de Investigación.....	21
3.4	Tratamiento de datos.....	22
3.4.1	Recolección de las muestras de semillas de los árboles.....	22
3.4.2	Siembra de la semilla de <i>C. cateniformis</i>	22
3.4.3	Mediciones morfométricas de las semillas de <i>C. cateniformis</i>	22
3.4.4	Viabilidad de las semillas.....	24
3.4.5	Contenido de Humedad de semillas	25
3.4.6	Índice de sensibilidad y asignación de reservas	26
3.4.7	Parámetros de germinación	27
3.4.8	Caracterización de variables edáficas de los tres sitios de estudio	28
3.5	Recursos Humanos y Materiales.....	29
3.5.1	Recursos humanos.....	29
3.5.2	Recursos materiales.....	29
CAPÍTULO IV		30
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
4.1	Parámetros morfológicos y propiedades ortogonales de las semillas de <i>C. cateniformis</i> en tres sitios de estudio.....	30
4.2	Patrones topológicos de viabilidad de las semillas y categorías de vigor.....	37
4.3	Curvas de absorción de agua, contenido de humedad e índice de sensibilidad de las semillas de <i>C. cateniformis</i>	40
4.4	Parámetros de germinación de la especie <i>C. cateniformis</i>	43
4.5	Caracterización edáfica de los sitios de estudio.	47
4.6	Relación de las variables edáficas con la calidad de la semilla de <i>C. cateniformis</i> . ..	48
CONCLUSIONES		50
RECOMENDACIONES		51
BIBLIOGRAFÍA		52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros descriptivos de las variables morfológicas de las semillas de <i>Cedrelinga cateniformis</i> en tres sitios.....	31
Tabla 2. Propiedades geométricas y superficie de las semillas de <i>C. cateniformis</i> en tres sitios.....	34
Tabla 3. Matriz de correlación de Pearson entre las variables morfométricas y las propiedades geométricas de las semillas de <i>C. cateniformis</i>	36
Tabla 4. Patrones topológicos observados en las semillas de <i>C. cateniformis</i> en tres sitios	39
Tabla 5. Valores medios del contenido de humedad de <i>C. cateniformis</i> en tres sitios	42
Tabla 6. Índice de sensibilidad a la desecación en semillas de <i>C. cateniformis</i>	43
Tabla 7. Valores medio de parámetros de germinación	45
Tabla 8. Valores medios de las propiedades químicas del suelo en tres sitios.....	47
Tabla 9. Valores del análisis de correspondencia entre los sitios y los indicadores de calidad de las semillas	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica de los tres sitios de estudio Condor Mirador, Pavayacu y Don Bosco.	20
Figura 2. Distribución de las métricas relacionadas con la forma y tamaño de las semillas de <i>C. cateniformis</i> en tres sitios (a) Condor Mirador, (b) Pavayacu y (c) Don Bosco.	33
Figura 3. Imágenes de las mediciones de largo, ancho y espesor de las semillas de <i>C. cateniformis</i>	33
Figura 4. Diagrama de caja de los valores medios de las variables métricas y las propiedades geométricas por sitios. Letras desiguales en las barras difieren significativamente por sitios mediante la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad.	36
Figura 5. Categorías de vigor de semillas de <i>C. cateniformis</i> sometidas a la prueba de tetrazolio (a) Condor Mirador, (b) Pavayacu, (c) Don Bosco.	38
Figura 6. Patrón de tinción de semillas de <i>C. cateniformis</i> sometidas a prueba de tetrazolio.	39
Figura 7. Curvas de absorción de agua acumulada en función del tiempo para tres sitios.	41
Figura 8. Germinación en semillas de <i>C. cateniformis</i> (a) Curva de porcentaje de germinación acumulada diaria (b) Imágenes del proceso de germinación.	44
Figura 9. Relación entre capacidad germinativa y velocidad de germinación.	46
Figura 10. Distribución espacial en dos dimensiones del análisis de correspondencia.	49

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Los Recursos Genéticos Forestales (RGF), tienen una importancia vital para la supervivencia humana (LAFORGEN, 2008; FAO, 2010; Tapia *et al.*, 2008), ya que constituyen uno de los activos más valiosos que disponen los países. La Convención de Diversidad Biológica manifiesta que, a pesar de su gran importancia, estos se están perdiendo a una velocidad alarmante debido al desconocimiento sobre su diversidad y localización, así como falta de incentivos para su estudio, uso y conservación (FAO, 2005; LAFORGEN, 2008; Tapia *et al.*, 2008; FAO, 2010).

Las grandes amenazas para la conservación de la diversidad genética forestal (semillas) proceden principalmente de la deforestación de los recursos forestales, la escasa atención que recibe el tema, el cambio climático y los sistemas inadecuados de cosecha (Pinedo *et al.*, 2001). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2011) en América del Sur, Ecuador ha mantenido la tasa de deforestación más alta durante los últimos 20 años (tasas de 1,5 % y 1,8 %) para los períodos 1990-2000 y 2001-2010, respectivamente.

En la Amazonía Ecuatoriana, a diferencia de las otras regiones del país el tema de semillas es menos desarrollado, recientemente a partir del año 2005 el Proyecto Bosques ejecutado por Solidaridad Internacional inicia algunas acciones de identificación de árboles semilleros nativos e impulsa la producción de plántulas en vivero. Pese a estos esfuerzos el debate del tema de semillas de calidad es limitado a nivel de la región amazónica e incluso del país (Fundación Española Solidaridad Internacional, 2011).

Una amplia historia de explotación, sin ningún criterio de manejo y aprovechamiento, ha provocado que la especie *Cedrelinga cateniformis* (Chuncho) sea considerada rara en muchas partes de su área de distribución, motivo por el cual, en el año 2015, a través del Acuerdo Ministerial No. 125, publicado en el Registro Oficial No. 272 el 23 de febrero del 2015 (Presidencia de la República, 2015), el Ministerio del Ambiente cataloga a la especie como condicionada porque según las estadísticas es muy aprovechada y se puede perder el recurso fitogenético para volver a repoblar con esta especie.

En este sentido, son escasos los estudios realizados en este importante recurso forestal en relación a los indicadores de calidad de semilla, por lo que es fundamental seleccionar

previamente las fuentes de germoplasma más apropiadas de la especie en estudio que permitan su propagación a partir de material genético de calidad superior, así como determinar parámetros de calidad de la semilla, recolectar frutos en las fechas apropiadas en correspondencia con su madurez fisiológica, e identificar patrones de variabilidad morfológicas que posibiliten entender la forma y tamaño de las semillas en función de la heterogeneidad del hábitat donde se desarrolla la especie. Si bien, la morfología de los frutos incluye rasgos que se mantienen relativamente constantes dentro de la especie, no ocurre lo mismo con el rendimiento de semillas y la eficiencia de éstas para germinar y dar origen a una nueva planta. Estas características presentan variaciones entre y dentro de las fuentes parentales, las cuales están determinadas tanto por su componente genético y vigor, como por las condiciones climáticas y edáficas de los sitios de crecimiento y la presencia de plagas y enfermedades (Snook *et al.*, 2005; Leadem *et al.*, 1984; Willan, 1991).

Por este motivo, es de interés de la comunidad científica forestal impulsar trabajos orientados al estudio de calidad de semillas como estrategia que permita garantizar material genético superior para responder las demandas de los programas de reforestación y restauración de ecosistemas degradados en condiciones amazónicas. En tal sentido surge la necesidad imperiosa de analizar el efecto de las variables edáficas en la variación de las características morfológicas de las semillas de *C. cateniformis* que incluya aspectos relacionados con la biología reproductiva de la especie, asociados a los análisis de viabilidad, peso de la semilla, contenido de humedad, capacidad germinativa, velocidad de germinación y vigor de las semillas, así como los niveles de variación morfológica en función de las condiciones del sitio donde se desarrollan los árboles productores de semilla, de forma tal que permita una mayor comprensión de los indicadores de calidad de semilla y facilite la toma decisiones para el establecimiento de una estrategia efectiva de manejo y conservación de este importante recurso genético forestal.

1.1 PROBLEMA CIENTÍFICO

¿Cómo inciden las variables edáficas de tres sitios en la morfología y los patrones de calidad de las semillas de *Cedrelinga cateniformis*?

1.2 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Las condiciones edáficas del micrositio influyen en la morfología y en los indicadores de calidad de la semilla de *Cedrelinga cateniformis*.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del ambiente edáfico en la morfología y calidad de la semilla de *Cedrelinga cateniformis* en tres sitios como contribución al manejo y conservación del recurso forestal en condiciones amazónicas.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar patrones de morfología en tres poblaciones (Condor Mirador, Pavayacu y Don Bosco) de semillas de *C. cateniformis*.
- Caracterizar los parámetros de germinación de las semillas de *C. cateniformis* y el comportamiento de variables edáficas en tres sitios de estudio.
- Determinar la relación de variables edáficas con los indicadores de calidad de semilla de la especie.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Recursos genéticos forestales

Los recursos genéticos forestales (RGF) son el material hereditario que se encuentra dentro de y entre las especies de plantas leñosas y árboles, que tienen un valor social, científico, ambiental o económico real o potencial. Los RGF son esenciales para la adaptación y protección de nuestros ecosistemas, paisajes y sistemas de producción, sin embargo, se encuentran sujetos a crecientes presiones y a una utilización insostenible. La conservación y gestión sostenible de los RGF es, en consecuencia, una cuestión esencial para garantizar que las generaciones actuales y futuras continúen beneficiándose de los árboles y los bosques (FAO, 2018).

La contribución de los bosques y árboles a la superación de los desafíos presentes y futuros de la seguridad alimentaria, la mitigación de la pobreza y el desarrollo sostenible depende de la disponibilidad de una rica diversidad en y entre las especies de árboles. La diversidad genética es necesaria para garantizar que los árboles forestales puedan sobrevivir, adaptarse y evolucionar en unas condiciones ambientales cambiantes. También mantiene la vitalidad de los bosques y proporciona resiliencia frente a factores de estrés, como las plagas y las enfermedades. Además, la diversidad genética es necesaria para los programas de selección artificial, mejoramiento y domesticación destinados al desarrollo de variedades adaptadas o al fortalecimiento de características útiles (FAO, 2018).

2.2 Estrategias para el manejo y conservación de las semillas como recurso genético forestal

2.2.1 Fuentes semilleras como mecanismo de conservación

Según Ecopar (2002), señala que las acciones de conservación genética *in situ* a través de fuentes semilleras están encaminadas a preservar los relictos de bosques nativos, mediante

la selección de fuentes semilleras para la producción y procesamiento de semillas; además constituyen alternativas de aprovechamiento del bosque y fomentan el uso de semillas de calidad. La fundación EcoPar ha seleccionado un total de 20 fuentes semilleras en los bosques andinos de la Sierra de Ecuador (Ordoñez *et al* 2004; Fundación Arco iris y EcoPar, 2002), la Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar (AAIC) 13 fuentes semilleras de especies nativas de la provincia del Cañar y La Fundación Ecológica Arco Iris 14 fuentes semilleras de especies nativas en Loja.

2.2.2 Uso y transferencia de germoplasma

Según Palacios (2005), manifiesta que una medida de conservación *in situ* de los recursos genéticos forestales debería ser el mantener la enorme riqueza etnobotánica que encierran los bosques para beneficio de las comunidades locales, entre esos, el uso y transferencia de germoplasma por parte de las poblaciones locales, al ser su refugio y fuente de productos florísticos y faunísticos y en donde se desarrolla su cultura y sabiduría.

Según Tapia (2008), señala que en los últimos 15 años se han incorporado bancos de germoplasma de varias universidades públicas y privadas. La infraestructura del Banco de Germoplasma del Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos (DENAREF), incluye dos cámaras a -15 °C (banco base) para 11 semillas ortodoxas, un banco activo a 2 °C para semillas recalcitrantes, un banco *in vitro* con 683 accesiones. La Universidad Nacional de Loja (UNL) dispone de un banco de germoplasma en donde existen facilidades para almacenar semillas a mediano plazo.

2.2.3 Bancos clonales

Según Expoforestal (2011), manifiesta que una de las pocas iniciativas relativas al manejo de bancos clonales es aquella de EXPOFORESTAL INDUSTRIAL S.A., empresa chilena que desde 1992 exporta subproductos de eucalipto *Eucalyptus urograndisdesel* Ecuador, para lo cual conduce un moderno vivero forestal con capacidad para 5 millones de plantas, ubicado en la ciudad de La Concordia en el trópico húmedo del litoral. Las plantas son producidas a partir de semillas certificadas provenientes del CATIE en Costa Rica y SEMICOL, entre otras fuentes.

El estaquillado o esquejado consiste en tomar una porción de una planta, ya sea un trozo de tallo, de raíz o una hoja, y conseguir que emita raíces por la base para formar un nuevo ejemplar. Muchos árboles y arbustos cultivados son reproducidos a partir de esquejes o segmentos de tallos que, cuando se los coloca en agua o tierra húmeda, desarrollan raíces en sus extremos. Uno de los ejemplos más conocidos es el árbol de sauce que tiene una gran capacidad para formar raíces y crecer. Los esquejes pueden ser también de hoja, como los que se utilizan en la reproducción asexual de la begonia (Hartmann, 1991).

2.3 Realidad de los programas de semillas forestales en el Ecuador

A nivel nacional, el accionar en la temática de semillas forestales, tuvo sus inicios en el 2004, con la aprobación de la Normativa de Semillas Forestales, en la cual se define los indicadores; para la selección y registro de fuentes semilleras, como también la producción y comercialización de semillas forestales (Cañadas *et al.*, 2013). De manera aislada, y bajo actividades de tipo académico, se han realizado ensayos para obtener parámetros de calidad física y fisiológica de semillas forestales de especies de interés, mayormente exóticas como pino y eucalipto; esto no ha permitido que viveristas, técnicos y además actores dedicados a la recolección de semillas forestales cuenten con una metodología práctica para la identificación de fuentes semilleras y el manejo posterior de semillas (Samaniego *et al.*, 2005).

Según Samaniego *et al.*, (2005) manifiesta que el accionar del Programa Andino de Fomento de Semillas Forestales (FOSEFOR), a través de proyectos ejecutados por varias instituciones a nivel de Bolivia, Ecuador y Perú hicieron esfuerzos para unificar criterios, generar metodologías, elaborar normas de semillas, tecnificar la producción, procesamiento, almacenamiento, estudios de mercado, promoción y difusión del material genético que ofertan los actores pero aún no se alcanzan los niveles deseables. En la región austral del Ecuador, la Fundación Ecológica Arcoiris (FAI) en Loja y la Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar (AAIC) en Cañar, desde el año 200, ejecutan los proyectos *Centro de manejo y propagación de especies forestales andinas del Cañar (CEMAPREF)* y *Producción y comercialización de semillas forestales de especies nativas en el cantón Loja*, respectivamente.

Según Fundación Española Solidaridad Internacional (2011), señala que, en la amazonia, a diferencia de las otras regiones del país el tema de semillas forestales es menos desarrollado, recientemente a partir del año 2005 el Proyecto Bosques ejecutado por Solidaridad Internacional – SI, inicia algunas acciones de identificación de árboles semilleros nativos e impulsa la producción de plántulas en vivero. Así mismo, algunas iniciativas privadas comienzan a establecer plantaciones forestales de teca a pequeña escala (Reforestadora Palmar del Río) y el manejo de la regeneración natural de Jacarandá para la elaboración de cajonería por parte del Centro de investigaciones y servicios agropecuarias – CISAS en Sucumbíos. A partir del año 2010 el tema de semillas forestales se profundiza en Orellana por parte de los proyectos ejecutados por SI con el Apoyo de AECID y la Xunta de Galicia (SIGEFO – Fomento al uso de semillas) con la identificación y selección de 34 fuentes semilleras de 20 especies forestales nativas más demandadas por los actores. Se crea una cadena de producción y comercialización de semillas con la participación de varios actores: propietarios de las fuentes semilleras y bosques, asociación de productores forestales – APROFORES, el laboratorio LABSU del Vicariato de Orellana, el MAE como organismo de regulación y control; todo esto con la asesoría y apoyo técnico de Solidaridad Internacional.

2.4 Calidad de las semillas forestales

Según Fundación Española Solidaridad Internacional (2011), manifiesta que la calidad de las semillas es el conjunto de cualidades deseables que posee la misma y a su vez permite una excelente producción de plántulas y el establecimiento de las plantaciones con plantas, sanas, vigorosas y representativas de la variedad en referencia.

Una semilla de calidad es un organismo vivo que:

- Favorece un rápido y uniforme establecimiento en el campo (Vigor).
- Permite una población adecuada de plantas (Germinación).
- Está libre de organismos patógenos (Sanidad).
- No tiene contaminantes varietales (Pureza Varietal).
- Está exenta de semillas de malezas (Pureza Física).
- Permite la expresión del potencial genético propio de la variedad.

Según Arango (2001), los componentes de la calidad de las semillas son genéticos, fisiológicos, físicos y sanitarios. Estas son cualidades que se deben reunir en conjunto y no

en forma aislada; es esencial para conseguir un buen establecimiento de plantas y es el primer paso para lograr un cultivo óptimo.

La calidad fisiológica implica la integridad de las estructuras y procesos fisiológicos que permiten a la semilla mantener altos niveles de viabilidad. Los principales indicadores de la calidad fisiológica son la germinación y el vigor, que dependen del genotipo y de los cuidados realizados durante la producción de la semilla y su manejo poscosecha (Perry, 1972; Moreno *et al.*, 1988). La calidad física se la asocia con el color, brillo, daños mecánicos (fracturas, cuarteos), la presencia o ausencia de cualquier contaminante distinto de la semilla deseable. Estos contaminantes pueden ser: materiales inertes, semillas de malezas comunes y nocivas, formas reproductivas de plagas y enfermedades. Una semilla de calidad física es la que presenta un alto porcentaje de semilla pura, y el mínimo contenido de semilla de malezas, de otros cultivos y materia inerte. Otros atributos físicos en las semillas son el contenido de humedad, el tamaño, la uniformidad y densidad. (Fundación Española Solidaridad Internacional, 2011).

2.4.1 Análisis de pureza

La finalidad es establecer la composición de la muestra en peso, que es objeto del ensayo, debido a que ésta puede poseer impurezas como semillas de otras especies, estructuras seminales separadas, partículas de hoja y otros materiales (Willan, 1991).

Según Low (1991), manifiesta que el análisis de pureza física proporciona la cantidad de semilla del cultivo y la de material extraño que existe en su lote. Si es un productor le indica las malezas presentes en la muestra, lo que le permite consultar con las autoridades agrícolas acerca de la mejor forma para erradicarlas de sus próximas siembras. Si se trata de un comprador le advierte sobre la compra de semillas que puedan traer a futuro y si trabaja en el beneficio le indica la cantidad de operaciones de limpieza que tiene que realizar.

2.4.2 Contenido de humedad

El contenido de humedad se refiere a la cantidad que hay de agua libre en la semilla y se expresa como porcentaje del peso total de la semilla en el momento de realizar la determinación. (Fundación Española Solidaridad Internacional, 2011).

El contenido de humedad es el elemento más importante en la determinación de la velocidad a la que las semillas se deterioran y tiene un considerable impacto en la longevidad de las

semillas si se almacena en un banco de germoplasma. Incluso pequeños cambios tienen un gran efecto en la vida en almacenamiento. Antes de almacenar las semillas es importante determinar el contenido de humedad para predecir el potencial de vida con exactitud en el almacenamiento que tendrá cada accesión (Rao *et al.*, 2006).

2.4.3 Peso de semilla

El peso de la semilla se expresa normalmente como el peso de 100 semillas puras por gramo o kilogramo, según se requiera, lo cual se determina contando 1000 semillas y pesándolas, o utilizando ocho réplicas de 100 semillas cada una, con las que se puede calcular la desviación típica y el coeficiente de variación, así como la media. Si el coeficiente de variación es inferior a cuatro, entonces se acepta la media, caso contrario se prescriben otras ocho réplicas (Willan, 1991).

2.4.4 Germinación de la semilla

Según Barioglio (2006), la germinación es el proceso mediante el cual una semilla se desarrolla hasta transformarse en una nueva planta, dicho proceso se produce cuando el embrión se hincha y la cubierta de la semilla se rompe. Los elementos básicos que toda nueva planta requiere para lograr su desarrollo son; luz, agua, oxígeno y sales minerales.

Según Peske *et al.*, (2012), señala que la germinación se define como la emergencia y el desarrollo de las estructuras esenciales del embrión, manifestando su capacidad de dar origen a una nueva plántula, bajo condiciones ambientales favorables.

2.4.5 Viabilidad de las semillas

La viabilidad es representada por el porcentaje de germinación, el cual expresa el número de plántulas que pueden ser producidas por un número dado de semillas.

La germinación debe ser rápida y el crecimiento de plántulas vigoroso. Esto es la vitalidad de la semilla, o fuerza germinativa, y puede representarse por la velocidad de germinación.

La reducción en viabilidad y vitalidad de la semilla puede ser el resultado de un desarrollo incompleto de ella en la planta, de lesiones durante la cosecha, de procesado y manejo inadecuado o de envejecimiento (Fundación Española Solidaridad Internacional, 2011).

Según ISTA (2003), manifiesta que el diagnóstico estimado de vitalidad de una semilla, evaluado con la técnica de tetrazolio fue denominada por Lakon como “vitalidad de la semilla”, y por lo tanto fue asimilada para el término “poder de germinación”. Este término se refiere al hecho de que las semillas podrían ser evaluadas con una tinción de tetrazolio para verificar su potencial para producir nuevas plántulas.

La prueba de tetrazolio está basada en la actividad de ciertas enzimas llamadas deshidrogenasas, las cuáles participan en las reacciones de respiración que se producen en la mitocondria de las células vivas. Estas enzimas están presentes en los tejidos vivos de las semillas, y reducen la solución incolora de 2, 3, 5-trifenil cloruro de tetrazolio en un color rojo/rosa genéricamente llamado formazan. Cuando las semillas están sumergidas en una solución de tetrazolio, las células vivas de los tejidos sufren una reacción química de óxido reducción donde están presentes las enzimas participantes (Glenner, 1990).

2.4.6 Vigor de las semillas

El vigor es la capacidad de que una semilla germine y se desarrolle en condiciones adversas en el campo. En cualquier lote de semillas, la pérdida de vigor está relacionada con la disminución en la capacidad de las mismas para llevar a cabo todas las funciones fisiológicas que les permiten germinar y progresar (Fundación Española Solidaridad Internacional, 2011).

Existen varios conceptos de vigor; mientras tanto, se puede generalizar y afirmar que vigor es el resultado de la conjugación de todos aquellos atributos de la semilla que permite la obtención de un adecuado stand bajo condiciones de campo, tanto favorables como desfavorables (Peske *et al.*, 2012).

2.5 Características de los suelos amazónicos

La mayor parte de los suelos amazónicos son pobres en nutrientes y tienen un bajo potencial de retención, especialmente en lo referente al calcio, al potasio y al fósforo. A diferencia de otras regiones más templadas, los nutrientes no se encuentran en su mayor parte en el suelo sino en el bosque, o sea, en la biomasa. Lo que sucede es que el bosque tiene una alta capacidad de reabsorber los nutrientes de la materia orgánica caída y descompuesta, y controla de esta manera la pérdida de los nutrientes. El bajo contenido de nutrientes se debe

a dos causas: a las altas temperaturas, precipitaciones, y a la historia geológica de la región (Valencia, 2006).

Según Martín (2007), manifiesta que los suelos amazónicos se caracterizan por una baja fertilidad, alta acidez y toxicidad causadas por el aluminio, deficiencia de fósforo, además de problemas físicos, estructura no definida y alta saturación de humedad, lo que provoca una gran acumulación de materia orgánica de baja calidad.

En regiones tropicales húmedas como la Amazonía Ecuatoriana, el clima ejerce sobre la edafogénesis una influencia primordial que favorece la lixiviación de las bases (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} , K^{+1}), lo que induce a un predominio de minerales poco alterables y de arcillas simples como el cuarzo, caolinita, halloysita, gibsita y óxidos de hierro, confiriéndoles ciertas características morfológicas y el descenso de los parámetros asociados a la fertilidad principalmente el pH (Gardi *et al.*, 2014; Custode y Sourdat, 1986).

Diferentes estudios han confirmado las características químicas y la baja fertilidad natural de estos suelos, caracterizado por ser ácidos, con alto contenido de materia orgánica, deficientes en P, S, y en bases cambiables (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+1}) y alta presencia en hierro (Bravo *et al.*, 2015; Nieto y Caicedo, 2012; Martín y Pérez, 2009).

Según Valencia (2006), señala que, a pesar de la poca capacidad del suelo de retener los nutrientes, la sobrevivencia del bosque no está amenazada, porque las especies de árboles de la Amazonía se han adaptado a suelos altamente meteorizados y lavados. Una de las adaptaciones más importantes es la concentración de raíces en la superficie del suelo, que permiten capturar los nutrientes provenientes de la descomposición de la materia orgánica y evitar que se pierdan por lavado.

2.6 Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas de los suelos determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes (Rucks *et al.*, 2004).

2.6.1 Textura del suelo

Según FAO (2009), manifiesta que la textura del suelo se refiere a la proporción relativa de las clases de tamaño de partícula (o separaciones de suelo, o fracciones) en un volumen de suelo dado y se describe como una clase textural de suelo. La textura es muy importante para la agricultura, ya que condiciona el comportamiento del suelo en cuanto a drenaje, aireación, capacidad de retención de agua y facilidad de laboreo.

2.7 Propiedades químicas del suelo

En el proceso de formación de los suelos, algunas partículas minerales y orgánicas se dividen en otras más pequeñas, hasta el punto de que no es posible percibir las a simple vista. A estas partículas más pequeñas se les llama coloides y son las responsables principales de la actividad química de los suelos (Cardona-Barrientos y García, 1990).

Cada coloide posee una carga negativa (-) por lo que puede atraer y retener partículas cargadas positivamente (+). Cuando un elemento químico está cargado eléctricamente se denomina ion. Si la carga es positiva (+) el ion recibe el nombre de catión; si es negativa, anión (Cardona- Barrientos y García, 1990).

2.7.1 pH del suelo

Según Fernández y Rojas (2006), manifiesta que el pH es una propiedad química del suelo que tiene un efecto importante en el desarrollo de los seres vivos (incluidos microorganismos y plantas). La lectura de pH se refiere a la concentración de iones hidrógeno activos (H⁺) que se da en la interface líquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquidos. La concentración de iones hidrógeno es fundamental en los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo.

Los valores que favorecen a la mayoría de los nutrientes están disponibles para las plantas y por ende para desarrollo de los cultivos a pH de 6.5 a 7.5 (Vásquez *et al.*, 2002)

2.7.2 Materia orgánica

Según Blanco (2006), señala que la materia orgánica es la acumulación de los residuos animales y vegetales, así como de las células microbiales situadas en el suelo y que se

encuentran en proceso de descomposición, siendo esto importante como fuente de la energía requerida para la actividad y el metabolismo de los microorganismos del suelo y como sustrato para el suministro de algunos nutrientes esenciales para las plantas.

2.7.3 Nitrógeno

El N incorporado al suelo se acumula fundamentalmente en forma orgánica. Las formas orgánicas no son asimilables directamente por las plantas, pero pueden llegar a serlo después de transformarse en nitrógeno mineral durante el proceso de mineralización de la materia orgánica (Perdomo y Barbazán, 2012).

A su vez, el nitrógeno mineral del suelo se presenta en forma amoniacal (N-NH_4^+) y nítrica (N-NO_3^-). Los cultivos asimilan tanto las formas nítricas como las amoniacales, la superioridad de una u otra en la nutrición de la planta depende de la especie cultivada y de las condiciones del medio (Perdomo y Barbazán, 2012).

2.7.4 Fósforo

Según Lozano *et al.*, (2012), manifiesta que el segundo elemento más importante después del nitrógeno es el fósforo, para el crecimiento de las plantas la producción de los cultivos y su calidad, en el suelo, existen varias formas químicas de fósforo, incluyendo el inorgánico (Pi) y el orgánico (Po). Estos componentes tienen múltiples fuentes de origen natural los cuales difieren ampliamente en su comportamiento y destino tanto en suelos naturales como cultivados.

2.7.5 Potasio

Las plantas absorben el potasio (K^+) por vía radicular a partir de la solución del suelo (1 unidad fertilizante de potasio es igual a 1 kg de K_2O). Debido a su baja carga y pequeño radio iónico, la absorción se efectúa con facilidad y pueden, incluso, absorberse cantidades de K superiores a las necesidades de la planta originando lo que se denomina consumo de lujo.

La planta puede absorber cantidades elevadas de potasio sin que se observen variaciones significativas del rendimiento, en relación con el obtenido para menores cantidades de potasio absorbido (Domínguez, 1997).

2.7.6 Calcio

Según Andrades (2012), el calcio es importante para el suelo desde un punto de vista físico debido a:

- Es necesario para una buena estructura (floculante del complejo arcillo-húmico)
- Aumenta la ligereza de los suelos pesados

Desde un punto de vista químico su importancia reside en:

- Es antagónico del H, por lo que los suelos ricos en Ca presentan un pH básico.
- Regula las posibilidades de solubilización del resto de los elementos del suelo.
- Permite el desarrollo de CIC más fuertes.

Según Andrades (2012), desde un punto de vista biológico el calcio es importante porque:

- Es necesario para la nutrición de plantas y microorganismos.
- Permite aumentar la velocidad de descomposición de la materia orgánica.
- Actúa sobre procesos de fijación de N₂.

2.7.7 Magnesio

El magnesio se encuentra en el suelo principalmente en forma mineral como silicatos, carbonatos, sulfatos y cloruros. La planta puede absorber el Mg²⁺ de la solución del suelo, por vía radicular, o el de las soluciones fertilizantes, a través de los estomas, por vía foliar (1 UF = 1 kg de MgO) (Donis, 2012).

2.7.8 Hierro

Según Bernier (2000), señala que los suelos generalmente están bien provistos de hierro, pero en las plantas se producen estados carenciales por inactivación del Fe²⁺. En la mayoría de las ocasiones se trata de carencias inducidas o secundarias, conocidas como clorosis por ser, precisamente, la falta de clorofila el síntoma manifiesto.

Debido a la fuerte influencia que el pH y el Ca^{2+} del suelo ejercen sobre la asimilabilidad del hierro, los análisis de suelo deben considerarse solamente como indicativos. Para una interpretación más consciente, debe acudirse siempre al estado nutricional del cultivo (Bernier, 2000).

2.7.9 Manganeso

El manganeso dentro de las plantas, se encuentra en general unido fuertemente entre las proteínas, lo que proporciona un estado de estabilidad estructural a estas moléculas (Binkley, 1993; Zottl y Tschinkel, 1971).

Según Cuellar *et al.*, (2002) manifiesta que el manganeso activa las enzimas vinculadas a la respiración y al metabolismo del nitrógeno. Tiene un activo papel en la fase oscura de la fotosíntesis y en la producción de clorofila. Participa en la síntesis proteica, la formación del ácido ascórbico, absorción iónica y la fijación de dióxido de carbono. Proceso de fotosíntesis, actividad enzimática (Mn superóxido dismutasa, arginasa, descarboxilasa, deshidrogenadas, etc).

2.7.10 Cobre

El cobre es un elemento poco móvil dentro de la planta, cuya principal función es llevar a cabo la reducción del oxígeno (Binkley, 1993; Zottl y Tschinkel, 1971).

Según Cuellar *et al.*, (2002) señala que el cobre forma parte de proteínas presentes en el cloroplasto y participa en la formación de la clorofila. Es esencial para la activación de varias enzimas vinculadas con la respiración y la fotosíntesis. Promueve la formación de la vitamina A. Proceso de fotosíntesis, actividad enzimática (citocromo coxidasa, fenolasa, etc.), reacciones de oxidación reducción.

2.7.11 Zinc

Este elemento participa en la formación de auxinas y activa los fermentos en las plantas. Las plantas con niveles deficientes de zinc, presentan reacciones fisiológicas reducidas y deformidades en el crecimiento de los ápices (Binkley, 1993; Zottl y Tschinkel, 1971).

Según Cuellar *et al.*, (2002) señala que las funciones del zinc es el proceso de fotosíntesis y desarrollo de cloroplastos, síntesis de auxinas, actividad enzimática (NADH-deshidrogenada, anhidrasas, carbónicas, alcohol-deshidrogenasa, superóxido dismutasa, RNA- polimerasa, etc.). Síntesis de ácido indol acético (regulador del crecimiento). Participa en la formación de clorofila, uso eficiente del agua, síntesis proteica y equilibrio ácido-base.

2.8 La especie *Cedrelinga cateniformis*

2.8.1 Descripción taxonómica de la especie

Ecuador Forestal (2012), la descripción taxonómica de la especie “*C. cateniformis*” es la siguiente:

Familia: Mimosaceae

Nombre Científico: *Cedrelinga cateniformis* D. Duke

Nombre Común: Chunchu

Nombres comunes relacionados: Seique, Tornillo, Mara macho, Cedrorana.

Según Ecuador Forestal (2012), muestra una lista de nombres comunes muy amplio para la especie *C. cateniformis* tales como seique, chunchu, tornillo, achapo, cedrorana, aguano, cedro mayna, cedro rana, hayra caspi, carica, yacayaca, laicaica.

2.8.2 Descripción botánica de la especie

Árbol de 0,5-2,0 m de diámetro y 20-40 m de altura total, con fuste cilíndrico, la ramificación desde el segundo o tercer tercio, la base del fuste recta. Corteza externa agrietada a fisurada, color marrón pardo a rojizo, con placas de ritidoma de unos 3-5 x 8-13 cm. Corteza interna homogénea, color crema a rosado blanquecino, sin secreciones. Ramitas terminales con sección circular, color marrón claro cuando secas, de unos 5-10 mm de diámetro, lenticelada, gabras (Campos, 2009).

2.8.2.1 Hojas

Según Ministerio del Ambiente (2011), presenta hojas compuestas bipinnadas, alternas y dispuestas en espiral, de unos 30-40 cm de longitud, el peciolo de unos 6-30 cm de

longitud, las hojas usualmente con 4 pinas, las zonas de articulación de las pinas con una glándula de unos 2-5 mm de diámetro, las láminas foliares ovadas, asimétricas, de unos 4-15 cm de longitud y 2-9 cm de ancho, enteras, el ápice acuminado, la base aguda e inequilátera, la nervación pinnada con 5-7 pares de nervios secundarios, los nervios terciarios muy paralelos y transversales al nervio central, las hojas glabras

2.8.2.2 Inflorescencia

Se presenta en panículas de 12-30 cm de longitud con numerosas cabezuelas agrupadas en manojos, las cabezuelas de 2,5-3,5 cm de longitud con pedúnculos de 1-2 cm de longitud (González, 2009).

2.8.2.3 Flores

Según Campos (2009), las flores son pequeñas, hermafroditas, de unos 1-1,5 cm de longitud, actinomorfas, con cáliz y corola presentes, el cáliz pequeño, de 1-2 mm de longitud, la corola blanquecina, de 4-5 mm de longitud, tubular, con 5 dientes; androceo con muy numerosos estambres de 1-1,5 mm de longitud, el pistilo único con un estilo largo y estigma obsoleto

2.8.2.4 Frutos

Son legumbres muy largas y aplanadas, de 30-40 cm de longitud y 2-3 cm de ancho, con 6-15 semillas, la legumbre estrechada entre las semillas y revirada helicoidalmente (Reynel *et al.*, 2003).

2.8.2.5 Fenología

Según Samaniego *et al.*, (2011), señalan que mayormente la etapa de floración ocurre a finales de la estación seca entre octubre, noviembre y diciembre. En la provincia de Orellana, Ecuador la fructificación se registra en los meses de enero, febrero y marzo. La recolección inicia en febrero y se extiende hasta marzo. Boese (1992), reporta que en la provincia de Sucumbios Ecuador, la fructificación ocurre en el mes de abril con una regeneración abundante. En el informe técnico del Programa Nacional de Forestería del INIAP señala que la producción de semilla no siempre es anual y que existen años en ciertas localidades donde los individuos no producen fruto, en otros años no ha sido posible encontrar semillas (Barrera, 2013).

2.8.2.6 Semilla

En un kilogramo de frutos de *C. cateniformis* se encuentra de 1 700 a 1 900 semillas. Estas son grandes, elípticas, entre 1,8 a 3,5 cm de largo, 1,0 a 2,5 cm de ancho y muy comprimidas lateralmente (entre 0,2 a 0,3 cm). (Vidaurre, 1991). Según Flores (2006), describe que cada fruto posee entre 2 y 7 semillas. Las semillas son grandes, entre 1,8 a 3,5 centímetros de largo, 1,0 a 2,5 centímetros de ancho, pero delgadas (entre 0,2 y 0,3 centímetros) y hay entre 1.300 y 1.600 semillas por kilogramo.

2.8.2.7 Germinación y viabilidad

El tiempo requerido para la germinación de las semillas es de 7 días y el tiempo que demora en germinar es de 15 días. La energía germinativa se relaciona con el poder de germinación en el tiempo, y se considera como buena si 2/3 del total de semillas germinan en 1/3 del período de germinación (Vidaurre, 1994). Con semillas recién cosechadas se obtiene entre 80-90 por ciento de germinación (Flores, 2006). La semilla posee un porcentaje de germinación alto en estado fresco, motivo por el cual se ha ensayado varios tratamientos pre-germinativos sin ninguna relevancia, lo más recomendable es emplear la semilla sin tratamiento. (Baluarte *et al.* 2000). En *C. cateniformis* existe pérdida de la viabilidad de las semillas muy acelerado, ya que a medida que aumenta el período de almacenamiento, de uno a tres meses, se incrementa el porcentaje de semillas podridas y, atacadas por insectos (Aróstegui, 1992).

2.8.2.8 Distribución geográfica

Según Aróstegui y Díaz (1992), la especie posee una distribución geográfica muy amplia que comprende desde la Amazonía peruana hasta la brasileña. Su rango altitudinal va desde los 120 hasta los 800 msnm, con temperaturas que varían entre 15 y 38°C y precipitaciones entre 2 500 a 3 800 mm anuales.

2.8.2.9 Hábitat de la especie

La especie naturalmente habita en lugares húmedos y pantanosos con presencia de capa de Humus, prefiere las nacientes y cursos superiores de los ríos en los suelos arcillosos de los bosques altos de tierra firme (Freitas *et al.*, 1992).

2.8.2.10 Uso de la especie

Ideal para trabajos de carpintería y artesanales; es usada en pisos, estructuras de casas, armaduras, vigas, columnas, carpintería de interiores, quillas de barco, útiles de cocina, mangos de herramientas, moldura, carrocería, postes, canoas, trapiche, durmientes, parquet, fabricación de puertas y ventanas. La madera es de excelente calidad y de gran durabilidad, semidura y semipesada, con grano recto a entrecruzado, textura gruesa y color blanquecino a rosado (Samaniego *et al.*, 2011).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización

La investigación se realizó en el vivero forestal, ubicado en la Universidad Estatal Amazónica, Km 21/2 vía Puyo-Tena Cantón Pastaza, provincia de Pastaza, a partir de semillas recolectadas de la especie *C. cateniformis* provenientes de tres sitios (Condor Mirador, parroquia El Triunfo; Pavayacu, parroquia Canelos y Don Bosco, parroquia Simón Bolívar, todos ubicados en el cantón Pastaza, provincia de Pastaza (Figura 1).

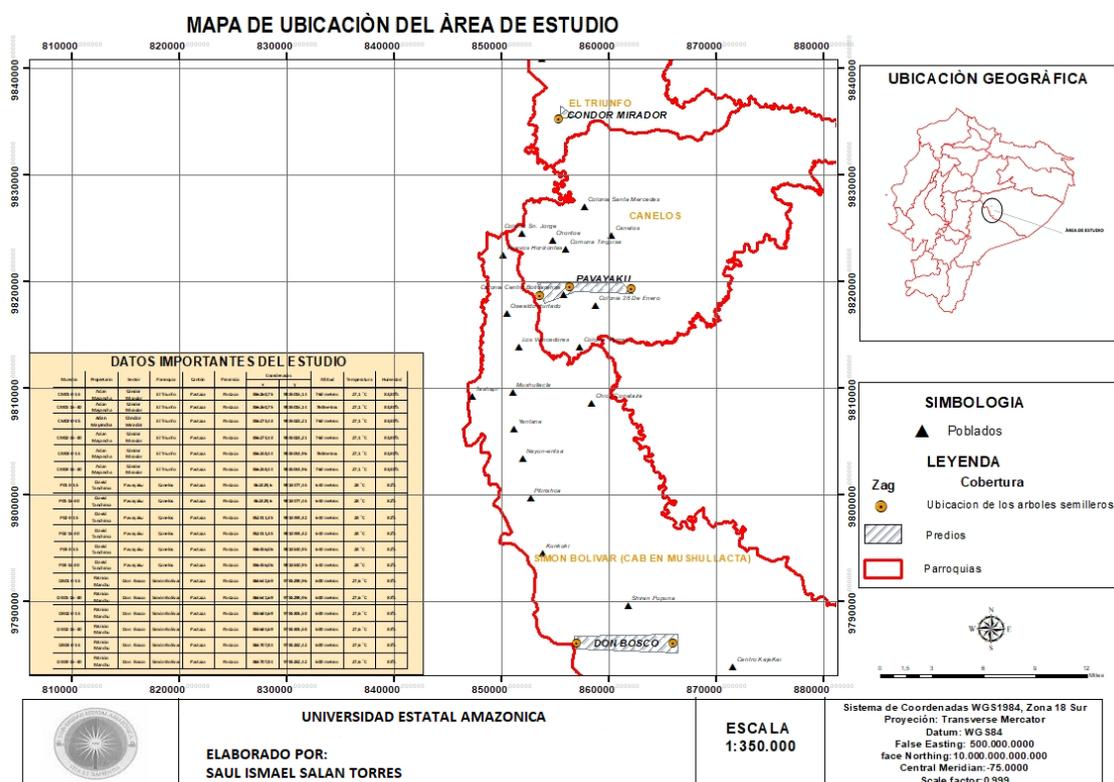


Figura 1. Localización geográfica de los tres sitios de estudio Condor Mirador, Pavayacu y Don Bosco.

Fuente: El Autor

A continuación, se presentan las características climáticas promedio de cada sitio de estudio, El Triunfo presenta un clima lluvioso Sub-tropical, con precipitaciones superiores a los 3.000 mm promedios anuales, una altitud que va desde los 1000 hasta los 1060 msnm, temperaturas entre 18 y 22.4 °C y la humedad relativa es del 90% (Plan de Desarrollo y

Ordenamiento Territorial de la parroquia El Triunfo, 2015). Canelos posee un clima Cálido lluvioso con precipitaciones superiores a los 4.000 mm promedios anuales, una altitud que va desde los 350 hasta los 1000 msnm, temperaturas entre 22 y 26 °C y la humedad relativa es del 90%. (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Canelos, 2015). Simón Bolívar tiene un clima Tropical Cálido Húmedo con precipitaciones mayores a los 4.500 mm anuales, un rango altitudinal que va entre los 400 a 1080 msnm, temperaturas que fluctúan entre los 18°C a 26°C y una humedad relativa mayor al 85%. (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Simón Bolívar, 2015).

3.2 Tipo de Investigación

La investigación que se realizó fue de tipo descriptiva debido a que durante el desarrollo de la misma se observó y describió el comportamiento de un sujeto sin influir sobre él de ninguna manera, de tal forma que los resultados obtenidos fueron analizados minuciosamente a fin de extraer generalizaciones que contribuyan al conocimiento sobre biología reproductiva de la especie. Se describieron las variables morfométricas de las semillas (largo, ancho y grosor), el patrón topológico de viabilidad de las semillas y sus categorías, además de las variables asociadas a los indicadores de calidad de la semilla de la especie en estudio de los tres sitios anteriormente mencionados, mediante el ensayo de germinación en vivero. También se describió el comportamiento de variables edáficas, a partir de muestras tomadas en cada sitio donde se desarrollaron los árboles de *C. cataeniformis* que proporcionaron las semillas para la investigación.

3.3 Método de Investigación

En el presente estudio se desarrollaron los métodos de observación científica y medición.

Observación: Se observó la reacción de las semillas mediante el cambio de coloración con la prueba de tetrazolio (2, 3, 5-trifenil cloruro de tetrazolio). Además, durante el proceso de germinación se observó el comportamiento de la germinación diaria en condiciones de vivero.

Medición: Se realizó la medición de los parámetros morfológicos de las semillas (largo, ancho y grosor) y se determinaron las propiedades químicas del suelo a diferentes profundidades (0-15 cm y 15-30 cm).

3.4 Tratamiento de datos

3.4.1 Recolección de las muestras de semillas de los árboles

La recolección de las muestras de semillas se realizó de árboles selectos con buenas características fenotípicas, tales como: fuste recto, sin ramificaciones en la base del árbol, buena salud (sin enfermedades) según lo propuesto por Heredia y Hofstede (1999) adaptada por Ordóñez (2001), donde predominaron ramas plagiotrópicas en posición horizontal y de buen crecimiento. De cada sitio se tomó una muestra de 600 de semillas procedentes de tres árboles en cada uno de los sitios de estudio, con la finalidad de que el muestreo fuera representativo de la heterogeneidad del hábitat donde se desarrolla la especie. Los árboles se encontraban distribuidos formando manchas de vegetación. El sitio Condor Mirador corresponde a un relicto de vegetación el cual estuvo ocupado inicialmente por pastos, Don Bosco es un bosque nativo intervenido donde hubo extracción selectiva de árboles comerciales y Pavayacu es un área donde los árboles se encuentran distribuidos dentro de un sistema agroforestal.

3.4.2 Siembra de la semilla de *C. catenaeformis*

La siembra de semillas se realizó en las condiciones del vivero Forestal de la Universidad Estatal Amazónica, para lo cual se emplearon bandejas de germinación plásticas de 42,8 cm x 61,5 cm para tubetes redondos de capacidad 115 cm³. Se utilizó un diseño completamente al azar con muestras de semillas de tres sitios, cada sitio con cuatro réplicas de 25 semillas cada uno, para un total de 100 semillas por cada sector. Para la preparación del sustrato se utilizó mezclas equilibradas de 50% de arena, 30% tierra negra y 20% compost. Finalmente, el control de germinación de las semillas se realizó diariamente desde la siembra hasta la finalización del período de germinación que fue al décimo octavo día, lo cual permitió elaborar las curvas de germinación acumulada en función del tiempo.

3.4.3 Mediciones morfométricas de las semillas de *C. cateniformis*

Se realizaron las mediciones morfométricas de las semillas, a partir de las dimensiones de los caracteres largo (L), ancho (W) y espesor (T), utilizando un calibrador o pie de rey digital marca Stanley con una precisión de $\pm 0,02$ mm. Se evaluaron un total de 100 semillas por

cada sitio de estudio, resultando una muestra total de 300 semillas, las cuales fueron utilizadas para la siembra en el vivero. Posteriormente se realizó los cálculos propuestos por Mohsenin (1986), para la determinación de las propiedades geométricas dimensionales de las semillas, relacionados con el diámetro medio geométrico (Dg), Relación largo-ancho (RLA), área superficial (S) e índice de esfericidad (IE), empleando las siguientes ecuaciones (1, 2, 3, 4). A partir de los datos de morfometría se obtuvieron los parámetros estadísticos descriptivos (mínimo, máximo, media, desviación estándar e intervalo de confianza al 95%). Se realizaron curvas de distribución de gauss para describir el comportamiento de las medidas geométricas de las semillas. También se realizó un análisis de varianza de clasificación simple (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey al 95% de confiabilidad para las métricas de forma, tamaño y las propiedades geométricas, representado mediante un diagrama de caja, lo cual fue posible con el uso del programa estadístico SPSS ver. 22.0. Además de un análisis de correlación de Pearson para comprobar relaciones entre las medidas de morfología de las semillas.

$$Dg = (L \cdot W \cdot T)^{1/3} \quad (1)$$

Dónde:

Dg = diámetro medio geométrico

L = longitud

W = ancho

T = espesor

$$RLA = L/W \quad (2)$$

Dónde:

RLA = relación largo/ancho

L = longitud

W = ancho

$$S = L * \pi * (Diámetro / 2) \quad (3)$$

Dónde:

S= área superficial

L= ancho (mm)

$$IE= Dg/L \quad (4)$$

Dónde:

IE= índice de esfericidad

Dg= diámetro medio geométrico

L= longitud

3.4.4 Viabilidad de las semillas

La prueba de viabilidad se llevó a cabo en el Laboratorio de Química de la Universidad Estatal Amazónica, para lo cual se utilizó una muestra de 25 semillas de Chunchu, con tres repeticiones para cada sitio. Las semillas fueron sumergidas en agua durante 24 horas para posteriormente colocarlas en la solución de Tetrazolio (2, 3, 5- trifenil cloruro de tetrazolio) al 1% y en estufa a 45 °C de temperatura durante una hora. Finalmente se realizó un corte en el embrión y se observó la reacción de las semillas mediante el cambio de coloración (ISTA, 2014), y se procedió a obtener los datos necesarios que permitan validar la viabilidad de las semillas. Se determinó el porcentaje total de viabilidad por cada sitio, a partir del número total de semillas que resultaron viables.

Se categorizó el vigor de las semillas, clasificando las semillas viables y no viables, considerando la metodología propuesta por Gallo *et al.*, (2016):

Vigor alto: Semillas que mostraron un aspecto completamente teñido de coloración rojizo.

Vigor medio: Semillas con áreas menores de color rojizo sin tinción, con tejidos necróticos o flácidos de poca profundidad.

Vigor bajo: Semillas con presencia de mayores o múltiples áreas menores de color rojizo, sin tinción con tejidos necróticos o flácidos de una extensión mayor.

No vigorosas: Semillas con radícula deteriorada sin coloración (blanco lechoso) por lo tanto, tejido muerto.

Se realizó la interpretación de los patrones topológicos mediante la cuantificación de los embriones viables y no viables, identificando con un signo positivo las semillas que resulten en el grupo de las viables, según (ISTA, 2014).

Viable:

1. Embrión con tinción rojiza total.
2. Embrión con ausencia de tinción en la parte superior de ambos cotiledones. El resto de las estructuras con tinción rojiza.
3. Embrión con ausencia de tinción en un cotiledón. El resto de las estructuras con tinción rojiza.
4. Ausencia de tinción en la mitad inferior del hipocótilo y meristemo radical. Mitad superior del hipocótilo, meristemo caulinar y cotiledones con tinción rojiza.
5. Ausencia de tinción en el meristemo sub-apical radical. El hipocótilo, el meristemo caulinar y los cotiledones con tinción rojiza.

No viable:

6. Ausencia de tinción en la mayor parte de ambos cotiledones. El resto de las estructuras con tinción rojiza.
7. Ausencia de tinción en ambos cotiledones. Meristemo apical caulinar e hipocótilo con tinción rojiza.
8. Ausencia de tinción en el meristemo apical caulinar y los cotiledones. Hipocótilo y meristemo sub-apical radical con tinción rojiza.
9. Ausencia de tinción en el hipocótilo y meristemo sub-apical radical. Meristemo apical caulinar y cotiledones con tinción rojiza.
10. Ausencia de tinción en la mitad superior del hipocótilo. Meristemo apical caulinar, cotiledones y mitad inferior del hipocótilo y meristemo radical con tinción rojiza.
11. Ausencia de tinción en la mayor parte de hipocótilo, meristemo apical caulinar y cotiledones. Parte inferior del hipocótilo y meristemo radical con tinción rojiza.

3.4.5 Contenido de Humedad de semillas

Para esta prueba se utilizaron 50 semillas por cada sitio, las semillas fueron pesadas en fresco utilizando una balanza analítica Marca AE ADAM Modelo PW254, luego las semillas fueron sumergidas en agua para ir reportando los pesos cada 24 horas, el proceso se realizó hasta que las semillas obtuvieron un peso constante, el cual resultó a los siete días. Con estos datos se construyó una curva de porcentaje de absorción de agua acumulada en función del tiempo. El peso seco se obtuvo de los pesos tomados de las mismas semillas de cada sitio durante 48 horas a 45 °C de temperatura, en una estufa Marca BARSTEAD, Modelo 3513.

Los datos obtenidos de contenido de humedad fueron procesados mediante ANOVA y pruebas de comparación de medias de Tukey al 95% de confiabilidad.

La fórmula para determinar el contenido de humedad fue propuesta por ISTA (2007), la cual se presenta en la siguiente ecuación:

$$CH = \frac{PHM - PSM}{PHM} * 100 \quad (5)$$

Dónde:

CH = Contenido de humedad (%)

PHM = Peso de la submuestra en húmedo

PSM = Peso de la submuestra en seco

3.4.6 Índice de sensibilidad y asignación de reservas

También se determinó el índice de probabilidad de sensibilidad a la desecación, P (D-S), basado en datos biométricos de las semillas, de acuerdo con la fórmula propuesta por Daws *et al.* (2006), a partir de la siguiente ecuación:

$$P (D-S) = \frac{e^{3,269-9,974 a + 2,156 b}}{1+e^{3,269-9,974 a + 2,156 b}} \quad (6)$$

Donde:

a representó la fracción de la masa seminal destinada a las cubiertas seminales (MSC)

b es el log10 de la masa seca total de la semilla.

Para calcular la fracción (o asignación) de la masa seca de la semilla destinada a las reservas seminales se dividió el valor de este componente seminal entre la masa seca total de la semilla (Sánchez *et al.*, 2009), y los valores resultantes se multiplicaron por 100 para facilitar la interpretación de los datos.

Por lo que: si $P (D-S) > 0,5$ es probable que las semillas sean sensibles a la desecación; si $P (D-S) < 0,5$ es probable que las semillas sean tolerantes a la desecación; mientras que si $P (D-S) = 0,5$ las semillas tienen la misma probabilidad de ser sensibles a la desecación o tolerantes.

3.4.7 Parámetros de germinación

A partir de los datos de control de germinación diario se calcularon los parámetros de germinación, relacionados con la capacidad germinativa, velocidad de germinación, tiempo medio de germinación y vigor germinativo, a través de las siguientes ecuaciones (7,8, 9 y 10), según lo propuesto por Copeland y MacDonald (1995) y (Czabator, 1962). La tasa de germinación se estimó utilizando un índice de velocidad de germinación de Timson modificado (Timson, 1965).

$$CG = (n_i/N) * 100 \quad (7)$$

Donde:

CG = Capacidad germinativa

n_i = Número de semillas germinadas

N = Número total de semillas de la muestra

$$TMG = (T_1N_1 + T_2N_2 + \dots + T_nN_n) / N \quad (8)$$

Donde:

T_n : Número de días transcurridos desde el inicio de la germinación hasta el día n.

N_n : Número de semillas germinadas en el día n

N: Número total de semillas germinadas

$$IT = \Sigma G/t \quad (9)$$

Donde:

G: Porcentaje de germinación de semillas en intervalos de 2 días.

T: Germinación total

$$VG = UM * GDM \quad (10)$$

Dónde:

VG = Vigor germinativo

UM = Valor máximo o pico que se presenta entre los valores producto de la división del porcentaje acumulado de germinación y la cantidad de días que tardó en obtenerse.

GDM = Es la germinación media diaria calculada como la razón entre el porcentaje final de germinación (PG) y el número de días transcurridos hasta llegar a ese valor.

Los parámetros de germinación como indicadores de calidad de las semillas de la especie en estudio fueron procesados mediante ANOVA y prueba de comparación de medias de Tukey al 95% de confiabilidad. Se realizó un análisis de regresión con los parámetros de capacidad germinativa y velocidad de germinación. Estos análisis se realizaron con el programa SPSS ver. 22.0.

3.4.8 Caracterización de variables edáficas de los tres sitios de estudio

Para la caracterización de las variables edáficas se tomaron seis muestras compuestas por cada sitio. El muestreo se realizó según lo descrito por (CORPOICA, 2013), seleccionando cada submuestra en la gotera de tres árboles por cada sitio, ubicadas en las dos secciones de la copa a dos profundidades (0-15 cm y 15-30 cm). Para la toma de muestras se utilizó una pala o palin para cavar hoyos a las profundidades establecidas y en forma de V, luego las submuestras se colocaron en baldes y se mezclaron tratando de homogenizarlas, después se tomó una porción aproximada de 1 kg de suelo por cada profundidad y se colocaron en bolsas de plástico herméticas y fueron trasladadas al Laboratorio de Suelos de la Universidad Estatal Amazónica, en el cual se procedió con el análisis químico de las mismas.

La variable como el carbono orgánico total (COT) del suelo se evaluó por el método de digestión húmeda Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982), para lo cual se realizó una oxidación con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1N, con adición de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y posteriormente la cantidad de carbono orgánico oxidado por cromo fue medido por titulación usando una solución de sal de Morh 0,5 N ($H_2SO_4 + FeSO_4 + 7H_2O$). El pH se determinó mediante potenciometría con una relación suelo-agua de 1:2,5. La acides y Al^{3+} intercambiable fueron medidos por titulación (McLean, 1965), y el P disponible junto con las bases intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{1+}) se determinaron por el método de Olsen modificado (Bertsch, 1995)

A partir de los datos de propiedades químicas de los suelos se realizó un ANOVA y prueba de comparación de medias de Tukey al 95% de confiabilidad para comprobar variación en las propiedades edáficas. Además, se hizo un análisis de correspondencia como método multivariado que permitió comprobar el efecto del ambiente edáfico de cada uno de los sitios de estudio en los indicadores de calidad de la semilla, lo cual fue posible con el apoyo del SPSS ver. 22.0. Los indicadores de calidad fueron evaluados en tres categorías alta, baja y

media, lo cual resultó de la sumatoria de cada uno de los parámetros utilizados en el estudio de tamaño, forma y germinación de las semillas ponderados en categoría alta cuando los parámetros resultaron con dimensiones ortogonales apropiadas para la especie, alto porcentaje de germinación y que las semillas germinen en un tiempo corto después de la siembra expresado en el término de los 7 días. La categoría media cuando al menos uno de los parámetros descritos no se corresponde con las normas estandarizadas para la especie. La categoría baja resultó de un comportamiento desordenado en la forma, tamaño y respuesta germinativa de la especie.

3.5 Recursos Humanos y Materiales

3.5.1 Recursos humanos

Para el desarrollo de la presente investigación el recurso humano estuvo conformado por el Director del Proyecto, el egresado de la maestría, los técnicos del laboratorio y el técnico del campo.

3.5.2 Recursos materiales

Para llevar a cabo la presente investigación se utilizó material genético a partir de semillas de *C. cateniformis*, sustrato compuesto de 50% de arena, 30% tierra negra y 20% compost, bandejas de germinación plásticas de 42,8 cm x 61,5 cm, tubetes redondos de capacidad 115 cm³, calibrador o pie de rey digital marca Stanley con una precisión de $\pm 0,02$ mm, solución de Tetrazolio (2,3,5- cloruro trifenil tetrazolio), probetas, vasos de precipitación, cajas petri, pinzas, bandejas, balanza analítica Marca AE ADAM Modelo PW254, estufa Marca BARSTEAD Modelo 3513, pala, flexómetro, baldes, bolsas de plástico herméticas, GPS, material de oficina, computadora portátil y cámara fotográfica digital.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Parámetros morfológicos y propiedades ortogonales de las semillas de *C. cateniformis* en tres sitios de estudio.

La morfometría de las semillas de *Cedrelinga cateniformis* relacionadas con el largo, ancho y espesor en los tres sitios de estudio (Condor Mirador, Pavayacu y Don Bosco), analizada a través de los estadísticos descriptivos, manifestaron un patrón uniforme con poca variación en las medidas de forma y tamaño (Tabla 1). Las características morfométricas de las semillas presentaron un largo promedio que osciló de 3,25 a 3,29 cm, ancho promedio de 1,59 a 1,99 cm y el espesor de la semilla fue de $0,26 \pm 0,34$. Se pudo comprobar que las métricas relacionadas con el ancho y espesor manifestaron una mayor variabilidad. Estos resultados indican que al parecer la heterogenidad del hábitat donde se desarrolla la especie ejerce un efecto en la variación morfológica de las semillas, lo cual puede ser una expresión de la calidad del sitio donde se desarrollan los árboles portagranos en las condiciones amazónicas.

Esto se corresponde con lo descrito por Melo *et al.*, (2006), quien obtuvo resultados semejantes en cuanto a morfometría para largo, ancho y grosor de las semillas, cuyos valores fueron de 2,5 a 3,9 cm, 1,4 a 1,8 cm y 0,32 a 0,59 cm, respectivamente. Por su lado Mendizábal-Hernández *et al.*, (2012) reportaron que los valores de morfometría están en función de su capacidad reproductiva, asociada a efectos genéticos y ambientales, debido a diferencias de viabilidad, fertilidad del polen, y receptividad estigmática.

Tabla 1. Parámetros descriptivos de las variables morfológicas de las semillas de *Cedrelinga cateniformis* en tres sitios

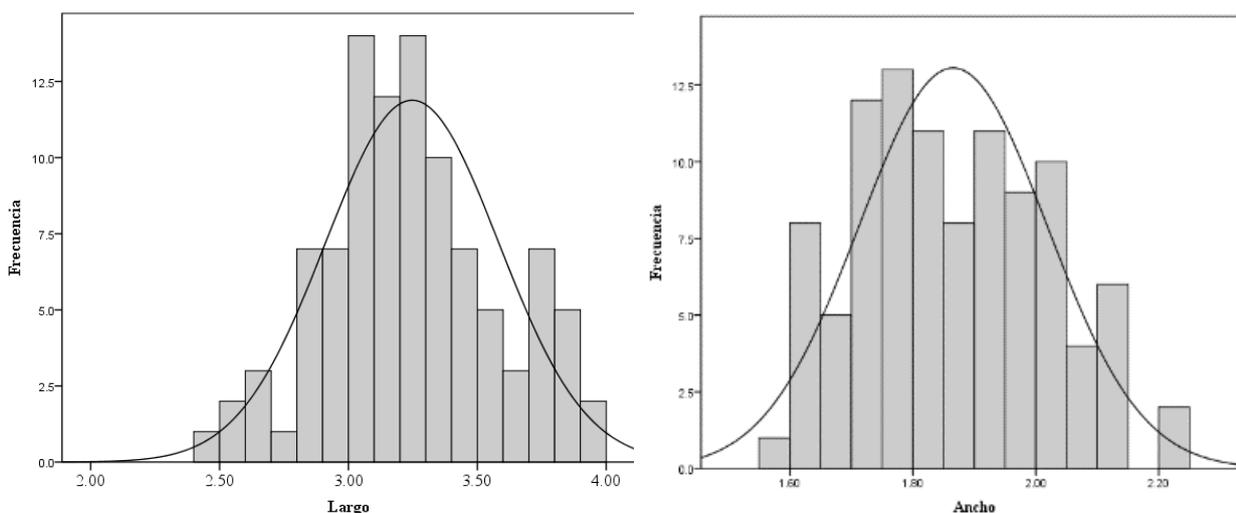
Variables	Sitio									
	Condor Mirador			Pavayacu			Don Bosco			
	L(cm)	A(cm)	E(cm)	L(cm)	A(cm)	E(cm)	L(cm)	A(cm)	E(cm)	
Mín.	2,45	1,86	0,36	2,72	1,60	0,21	2,51	1,61	0,22	
Máx.	3,94	2,25	0,49	4,20	2,40	0,66	4,33	2,27	0,42	
Media	3,25	1,59	0,26	3,29	1,93	0,34	3,27	1,99	0,32	
Desv. Est.	0,33	0,15	0,05	0,27	0,16	0,07	0,33	0,14	0,05	
I.C (95%)	LI	3,18	0,83	0,35	3,24	1,89	0,33	3,20	1,96	0,31
	LS	3,31	0,89	0,37	3,34	1,96	0,36	3,33	2,02	0,33

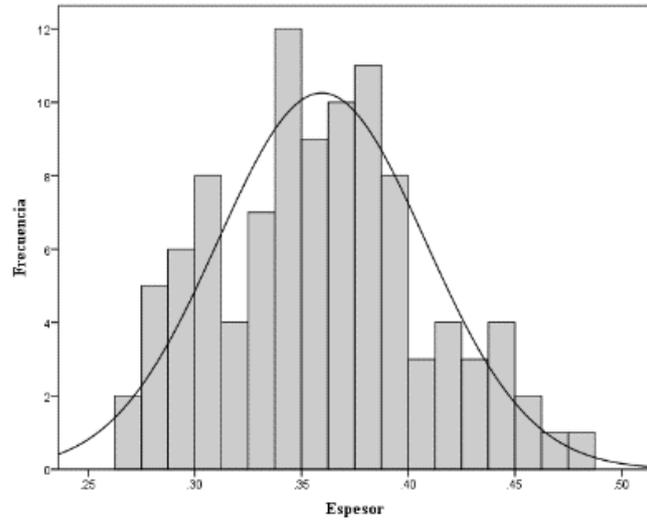
Legenda: Largo (L), Ancho (A), Espesor (E), Mínimo (Mín.), Máximo (Máx.), Media (Media), Desviación Estándar (Desv. Est.), Intervalo de confianza al 95% (I.C (95%)).

Fuente: El Autor

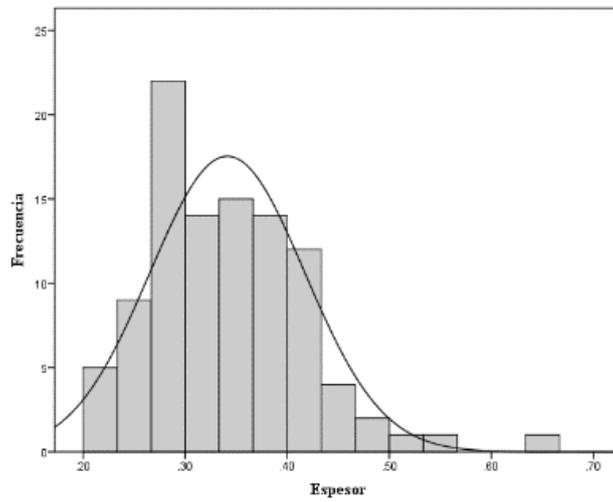
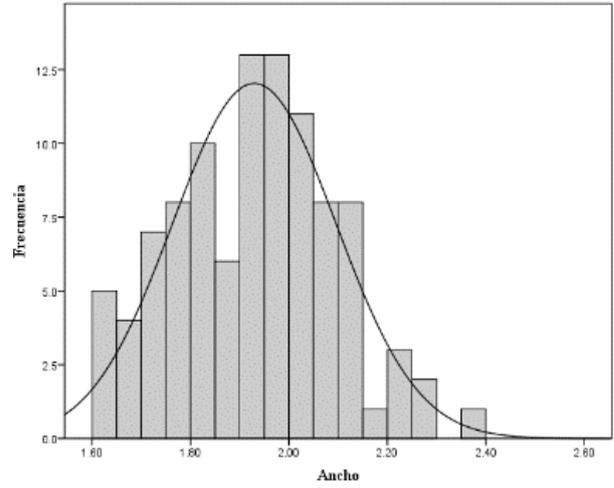
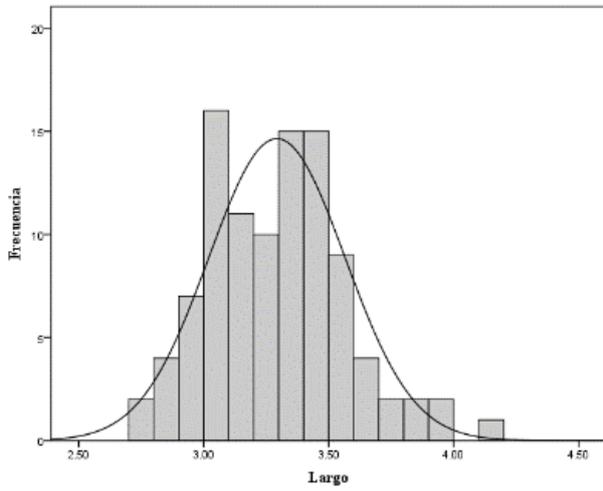
Las variables morfométricas (largo, ancho y espesor de las semillas) determinadas a partir en una muestra de 100 semillas por sitio indicaron una distribución normal (Figura 2), lo que demostró que el material seminal utilizado pertenecía a una misma muestra. Estos resultados reflejan el comportamiento simétrico de las semillas, aunque es notable que en los tres sitios las métricas de largo y ancho mostraron una mayor simetría con una distribución gaussiana casi perfecta y el ancho fue más asimétrico.

(a)





(b)



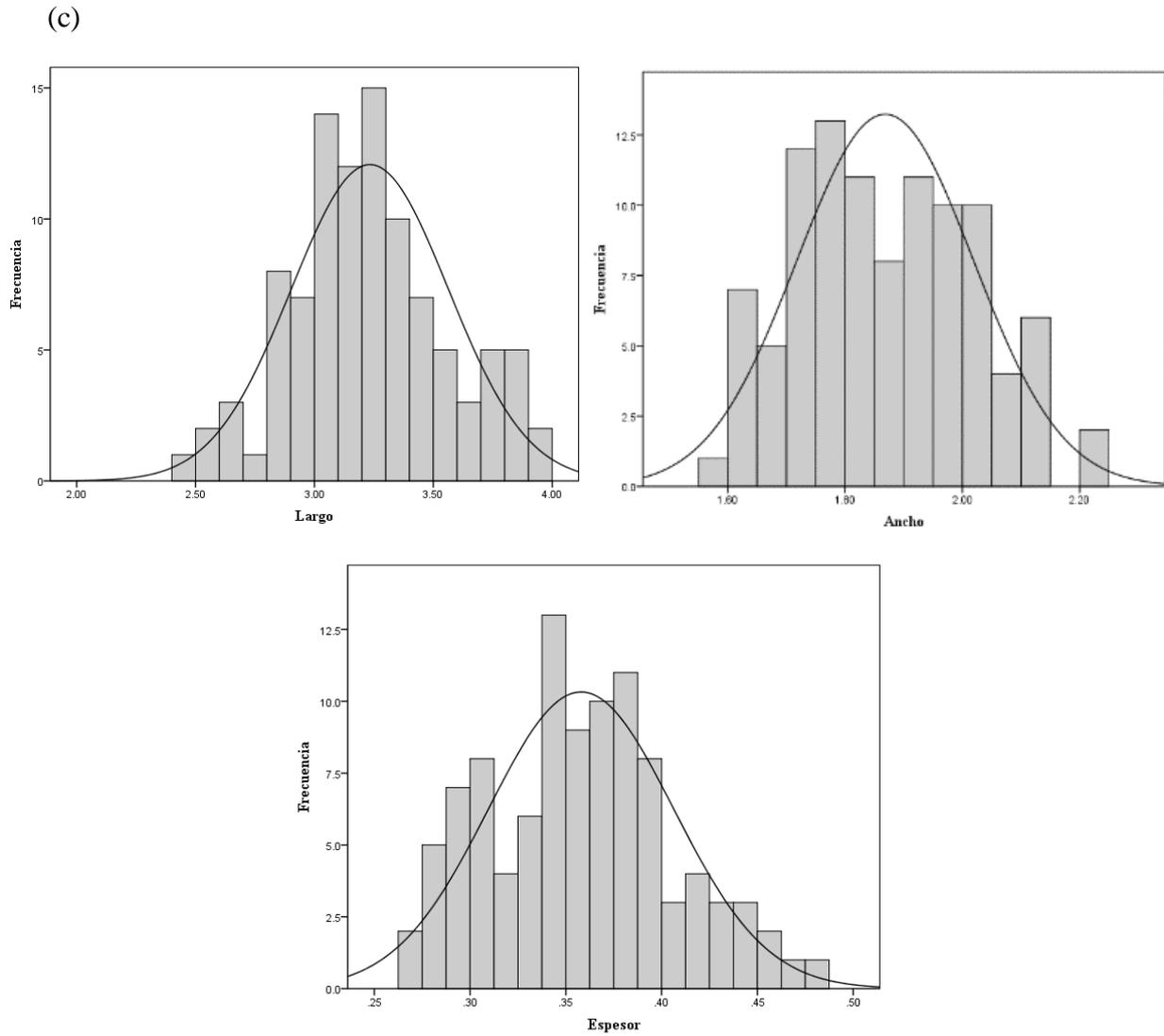


Figura 2. Distribución de las métricas relacionadas con la forma y tamaño de las semillas de *C. cateniformis* en tres sitios (a) Condor Mirador, (b) Pavayacu y (c) Don Bosco.

Fuente: El Autor.

Se observa las métricas realizadas a las semillas de chuncho determinadas por su forma y tamaño (Figura 3).



Figura 3. Imágenes de las mediciones de largo, ancho y espesor de las semillas de *C. cateniformis*.

Fuente: El Autor.

Las propiedades geométricas y de superficie de las semillas de *C. cateniformis* fueron similares en los sitios de estudio presentando una mayor variación el índice de esfericidad (IE) y el área superficial (S). La relación largo-ancho (RLA) resultó en un rango de 1,65 a 1,75 cm, el diámetro medio geométrico (Dg) osciló entre 1,27 y 1,29 cm, el índice de esfericidad de 50,15 a 68 cm, mientras que el área superficial fue de 5,09 a 5,27 cm² (Tabla 2). Se pudo comprobar que la esfericidad de las semillas fue baja, lo que demuestra la forma plana de las semillas de chunco. Estos resultados concuerdan con lo planteado por algunos autores, que indicaron que las semillas de esta especie son de forma elípticas o parcialmente esféricas, de borde irregular con base y ápice redondeada (Melo *et al.*, 2006; Acosta, 2015).

Tabla 2. Propiedades geométricas y superficie de las semillas de *C. cateniformis* en tres sitios

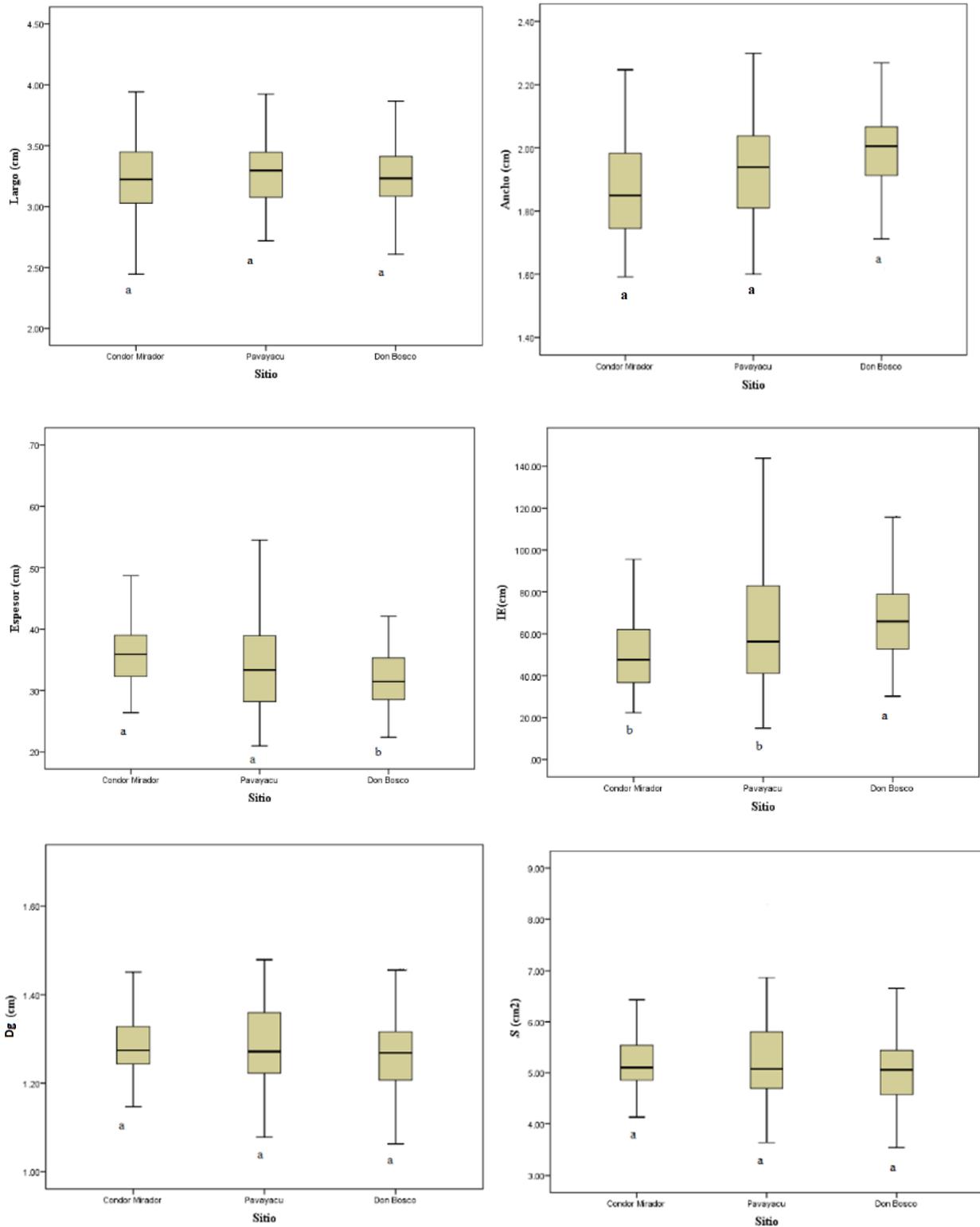
Sitio	Propiedades	Mín.	Máx.	Media	Des. Est.	I.C (95%)	
						LI	LS
C.M	RLA(cm)	1,31	2,27	1,75	0,19	1,71	1,78
	Dg(cm)	1,15	1,60	1,29	0,07	1,27	1,31
	IE(cm)	22,38	95,56	50,15	17,21	46,73	53,56
	S(cm ²)	4,13	8,04	5,27	0,66	5,11	5,38
P.V	RLA(cm)	1,34	2,21	1,72	0,20	1,68	1,76
	Dg(cm)	1,08	1,63	1,28	0,09	1,27	1,30
	IE(cm)	14,94	143,86	62,79	27,82	57,27	68,31
	S(cm ²)	3,65	8,65	5,21	0,72	5,06	5,37
D.B	RLA(cm)	1,28	2,30	1,65	0,22	1,60	1,69
	Dg(cm)	1,06	1,54	1,27	0,09	1,25	1,29
	IE(cm)	30,17	126,09	68,00	20,61	63,92	72,09
	S(cm ²)	3,55	7,42	5,09	0,72	4,95	5,93

Leyenda: Condor Mirador (C.M), Pavayacu (P.V), Don Bosco (D.B), Relación Largo/Ancho (RLA), Diámetro medio geométrico (Dg), Índice de esfericidad (IE), Área superficial (S), Mínimo (Mín.), Máximo (Máx.), Media (Media), Desviación Estándar (Des. Est.), Intervalo de confianza al 95% (I.C (95%)).

Fuente: El Autor.

El análisis de varianza de clasificación simple (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey para las métricas de forma, tamaño y las propiedades geométricas no reportó diferencias significativas ($p \geq 0,05$) entre los sitios de estudio para las variables largo,

ancho, relación largo-ancho, área superficial y diámetro medio geométrico, representadas las mediante letras iguales en el diagrama de caja (Figura 4). El espesor y el índice de esfericidad resultaron con una media significativamente superior ($p \leq 0,05$) en el sitio Don Bosco.



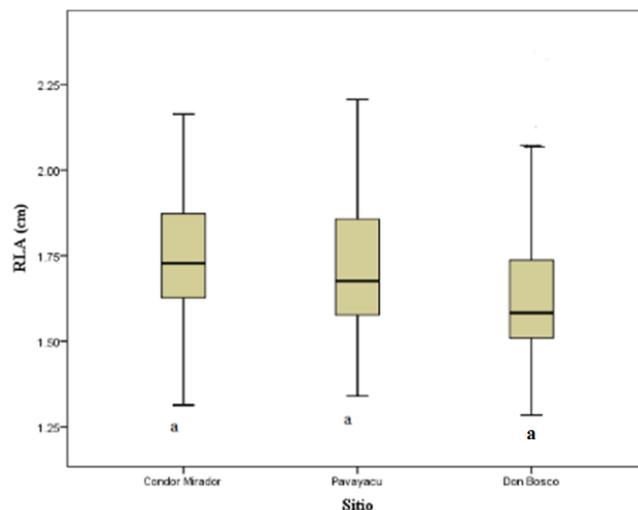


Figura 4. Diagrama de caja de los valores medios de las variables métricas y las propiedades geométricas por sitios. Letras desiguales en las barras difieren significativamente por sitios mediante la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad.

Fuente: El Autor.

Las variables morfológicas analizadas mediante el coeficiente de correlación de Pearson, demostraron una baja correlación entre las métricas de largo, ancho y grosor, mientras las propiedades geométricas reportaron, de forma general, una alta correlación entre ellas y con las métricas de forma y tamaño (Tabla 3). El índice de esfericidad resultó, en su mayoría, con una correlación negativa fuerte. Estos resultados reflejan la relación existente entre las métricas de forma y tamaño con las propiedades geométricas.

Tabla 3. Matriz de correlación de Pearson entre las variables morfométricas y las propiedades geométricas de las semillas de *C. cateniformis*

	Largo	Ancho	Espesor	RLA	Dg	IE	S
Largo	1.000	.110	.098	.742	.609	.122	.610
Ancho		1.000	-.292	-.579	.209	.465	.211
Espesor			1.000	.268	.750	-.883	.749
RLA				1.000	.349	-.207	.348
Dg					1.000	-.511	.999
IE						1.000	-.502
S							1.000

Leyenda: Relación Largo/Ancho (RLA), Diámetro medio geométrico (Dg), Índice de esfericidad (IE), Área superficial (S).

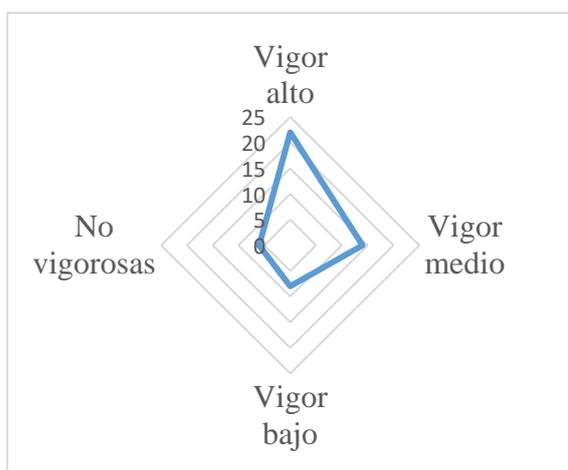
Fuente: El Autor.

4.2 Patrones topológicos de viabilidad de las semillas y categorías de vigor

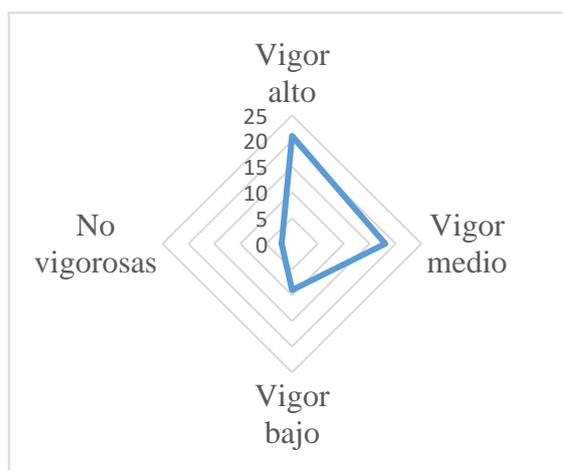
La prueba de tetrazolio reveló altos porcentajes de viabilidad (Vigor-TZ) en las semillas de chunco para los tres sitios de estudio, con valores de 96% para Pavayacu, 94% en Don Bosco y 88% para Condor Mirador, resultando el sitio Condor Mirador con un nivel de vigor más bajo que Pavayacu y Don Bosco, los cuales presentaron valores más altos y similares de vigor. Un estudio previo (França-Neto *et al.*, 2004) mostraron que tales diferencias se pueden relacionar estrechamente con la capacidad de las semillas para emerger en el campo. Así, el porcentaje de Vigor-TZ predice una de las expresiones de vigor en un lote de semillas, determinado por la capacidad de emergencia a campo. El Vigor-TZ expresa el nivel de vigor entre las semillas vigorosas, semillas no vigorosas y semillas no viables, las cuales son excluidas del muestreo.

Las semillas mostraron variaciones en las categorías del vigor para los tres sitios de estudio, resultando en todos los casos con valores superiores en la categoría vigor alto y menores en la categoría no vigorosas (Figura 5), pero el mayor predominio fue en categorías de semillas viables, mientras solo el 8%, como promedio, resultaron no viables. Que una semilla sea considerada viable indica que es capaz de germinar y producir una plántula normal. Esto demuestra la alta viabilidad de las semillas de *C. cateniformis* como indicador de la respuesta favorable al proceso de germinación en las condiciones del vivero forestal.

(a)



(b)



(c)

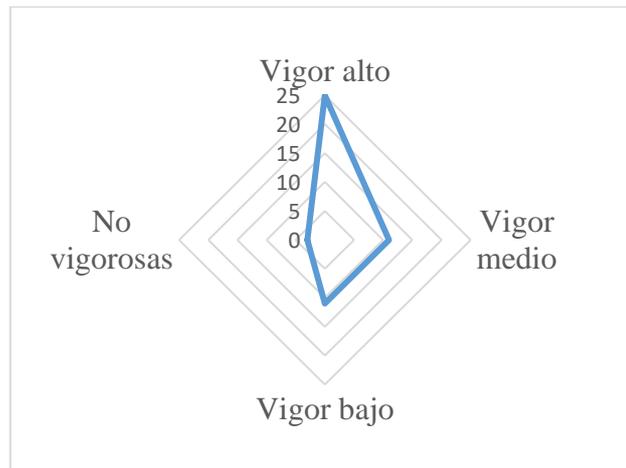


Figura 5. Categorías de vigor de semillas de *C. cateniformis* sometidas a la prueba de tetrazolio (a) Condor Mirador, (b) Pavayacu, (c) Don Bosco.

Fuente: El Autor.

Se reportaron variaciones en la intensidad de la tinción (Figura 6), predominando el patrón topológico de embriones con tinción rojiza total y ausencia de tinción en la mitad inferior del hipocótilo y meristemo radical (Tabla 4). Resultados similares fueron obtenidos por Victoria *et al.*, (2006). Esto permitió comprobar que al ser hidratadas las semillas la actividad de las deshidrogenasas incrementó resultando en la liberación de iones hidrógeno, lo que reduce a la solución de tetrazolio –2,3,5- triphenil tetrazolium chloride-incoloro a formazán-color rojo. El formazán tiñe a las células vivas de color rojo, en tanto que las muertas permanecen sin colorear (ISTA, 2014).

La disolución de la sal de tetrazolio permitió determinar la presencia y naturaleza de las alteraciones de los tejidos de las semillas de chuncho, produciéndose en los tejidos vivos (metabólicamente activos) el trifeníl formazan (ISTA, 2014), el cual identifica la actividad respiratoria de las mitocondrias durante la glicólisis y el ciclo de Krebs (França-Neto *et al.*, 1998), y como resultado indicó que las semillas de chuncho tienen alta viabilidad celular. Por lo tanto, el color rojo en los embriones fue un indicador positivo de la viabilidad de las semillas, lo cual permitió decir que las semillas de chuncho presentaron buena calidad fisiológica (Bhering *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2010; Carvalho *et al.*, 2013; Sarmiento *et al.*, 2013; Deminics *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2017). Las regiones débilmente coloreadas en algunas partes del embrión indicaron que las células presentaron una actividad respiratoria

baja y, por consiguiente, menor actividad de enzimas deshidrogenasas (Rodríguez *et al.*, 2008).



Figura 6. Patrón de tinción de semillas de *C. cateniformis* sometidas a prueba de tetrazolio.

Fuente: El Autor.

Tabla 4. Patrones topológicos observados en las semillas de *C. cateniformis* en tres sitios

Patrones	Indicadores	Sitio		
		CM	PV	DB
Viabiles	1. Embrión con tinción rojiza total	+	+	+
	2. Embrión con ausencia de tinción en la parte superior de ambos cotiledones. El resto de las estructuras con tinción rojiza.	+	+	+
	3. Embrión con ausencia de tinción en un cotiledón. El resto de las estructuras con tinción rojiza.			
	4. Ausencia de tinción en la mitad inferior del hipocótilo y meristemo radical. Mitad superior del hipocótilo, meristemo caulinar y cotiledones con tinción rojiza.	+	+	+
	5. Ausencia de tinción en el meristemo sub-apical radical. El hipocótilo, el meristemo caulinar y los cotiledones con tinción rojiza.			
No viabiles	1. Ausencia de tinción en la mayor parte de ambos cotiledones. El resto de las estructuras con tinción rojiza.	+	+	+
	2. Ausencia de tinción en ambos cotiledones. Meristemo apical caulinar e hipocótilo con tinción rojiza.		+	+
	3. Ausencia de tinción en el meristemo apical caulinar y los cotiledones. Hipocótilo y meristemo sub-apical radical con tinción rojiza.			

4. Ausencia de tinción en el hipocótilo y meristemo sub-apical radical. Meristemo apical caulinar y cotiledones con tinción rojiza.
5. Ausencia de tinción en la mitad superior del hipocótilo. Meristemo apical caulinar, cotiledones y mitad inferior del hipocótilo y meristemo radical con tinción rojiza.
6. Ausencia de tinción en la mayor parte de hipocótilo, meristemo apical caulinar y cotiledones. Parte inferior del hipocótilo y meristemo radical con tinción rojiza.

Fuente: El Autor.

Los resultados obtenidos en cuanto a patrones topológicos y categorías de vigor de las semillas de chuncho ofrecen información confiable como método de control de calidad, por lo que el test de tetrazolio pudiera resultar factible como diagnóstico de la calidad fisiológica de las semillas forestales por su rapidez, precisión y por el número de informaciones que aporta.

Este método ha sido adoptado por muchos investigadores sobre todo en especies de interés agrícolas y poco empleado en semillas forestales (França-Neto *et al.*, 2004; Santos *et al.*, 2007; Lima *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2013; Mendoza y Geanella, 2019) y además de señalar los problemas de reducción de calidad de las semillas puede identificar los puntos de origen de esos problemas, permitiendo que se adopten medidas correctivas, dando como resultado la producción de semillas de alta calidad y elevados porcentajes de germinación.

4.3 Curvas de absorción de agua, contenido de humedad e índice de sensibilidad de las semillas de *C. cateniformis*

La absorción de agua de las semillas de *C. cateniformis* presentaron un patrón de comportamiento similar para cada uno de los sitios de estudio. La máxima absorción ocurrió para las primeras 24 horas, es decir en el primer día, con un porcentaje de 36,92% para Pavayacu, 39,05% para Don Bosco y 39,45% para Condor Mirador, para el resto de los días desde el segundo hasta el octavo se evidenció más uniformidad con pequeñas variaciones que fueron inferiores al 2% en cada uno de los sitios (Figura 7).

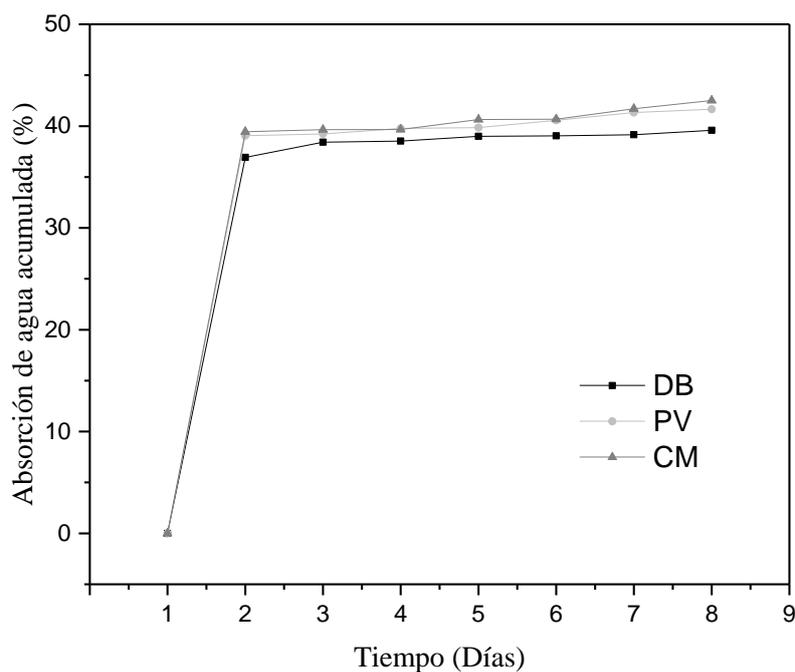


Figura 7. Curvas de absorción de agua acumulada en función del tiempo para tres sitios.

Fuente: El Autor.

El contenido de humedad determinado a partir del peso fresco y seco de las semillas resultó similar para los tres sitios de estudio ($p \leq 0,05$) con valores medios entre 61,03 y 65,07%. Estos altos valores de humedad son un reflejo de la buena condición física de las semillas para poder germinar en las condiciones ambientales del vivero, lo cual determina la actividad fisiológica y bioquímica de la semilla (Magnitskiy y Plaza, 2017). En un estudio sobre germinación y conservación de semillas de *Calophyllum brasiliense* (Herrera *et al.*, 2006) encontraron que las semillas que presentaron mayores contenidos de humedad germinaron en menor tiempo.

El contenido de humedad de las semillas resultó superior a 15%, valor que según Hong y Ellis (1996) corresponde a semillas potencialmente sensibles a la deshidratación o recalcitrantes. Como criterios predictivos que reafirman esta clasificación se le suman el hábitat húmedo donde se desarrolla la especie (bosque siempreverde).

El contenido de humedad es reconocido como uno de los factores cruciales durante el almacenamiento y manejo de semillas forestales, el cual puede afectar la longevidad de las semillas (Floriano, 2004). De esto puede inferirse que un sustrato húmedo garantizaría una rápida germinación, pero si estas condiciones son efímeras, podrían no establecerse las

plántulas. Esto aporta información básica para las labores iniciales de la silvicultura, lo que facilita la definición de los períodos de almacenamiento, conservación de la calidad fisiológica de las semillas y el control de riego en las condiciones de aviveramiento.

Tabla 5. Valores medios del contenido de humedad de *C. cateniformis* en tres sitios

Sitio	Peso fresco medio (g)	Peso seco medio (g)	Contenido medio de humedad (%)
Condor Mirador	54,30	19,89	63,37±0,06 ^a
Pavayacu	55,76	19,47	65,07±0,12 ^a
Don Bosco	52,06	20,29	61,03±0,02 ^a

Nota: Letras iguales no muestran diferencias significativas mediante la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad

Fuente: El Autor.

El índice de sensibilidad a la desecación P (D-S) fue superior a 0,5 resultando con el mismo valor para las tres poblaciones de estudio (Tabla 6), por lo que las semillas de esta especie califican como sensibles a la deshidratación según el criterio de Daws *et al.*, (2006). Esto indica que en condiciones naturales las semillas podrían morir por deshidratación sino encuentran un sustrato húmedo y no podrán ser almacenadas por largo tiempo. Estas características son típicas de especies con semillas recalcitrantes (Wyse y Dickie, 2018).

Las semillas forestales son liberadas al medio con diferentes niveles de humedad, composición química y tasa metabólica (Melo y Vargas, 2003), lo cual puede afectar su longevidad potencial. Las semillas de la especie en estudio son recalcitrantes (MAGAP, 2012), situación que no permite su almacenamiento, esto supone que las semillas se caracterizan por su sensibilidad a la deshidratación y su rápida pérdida de viabilidad posterior a la diseminación, lo que implica limitaciones en el almacenamiento. En este contexto Herrera *et al.*, (2006) comprobaron que la viabilidad de las semillas disminuyó rápidamente después de un mes almacenada y esta disminución se intensificó conforme se redujo el contenido de humedad. De esto se desprende que los contenidos de humedad reportados para la especie son adecuados para garantizar altos porcentajes de germinación si la siembra se realiza de forma inmediata ya que se trata de semillas sensibles a la deshidratación, siendo un criterio silvícola importante a tener en cuenta en el vivero.

Las semillas de la especie *C. cateniformis* en los tres sitios de estudio destinaron más de un 34% de la materia seca total a la formación de las reservas nutricionales. Esto podría

garantizar que las plántulas cuenten con cierta cantidad de recursos para crecer durante las primeras etapas de su desarrollo en vivero, fenómeno registrado en semillas de *Talipariti elatum* y *Ceiba pentandra* (Sánchez *et al.*, 2009). También una considerable cantidad de recursos en las reservas seminales podría ser una ventaja para el inicio del crecimiento en suelos pobres en nutrientes (Sánchez *et al.*, 2015).

Los resultados del índice de sensibilidad son similares a lo reportado por Pernús *et al.*, (2018) en un estudio sobre rasgos funcionales de semillas de *Pachira emarginata*, donde se reportó un comportamiento de sensibilidad a la deshidratación para semillas de esta especie. Por su parte contrasta con Reino-Molina *et al.*, (2017) en semillas de variedades de morera (*Morus alba*) donde las características seminales fueron tolerantes a la desecación.

Tabla 6. Índice de sensibilidad a la desecación en semillas de *C. cateniformis*

Sitio	Fracción de masa seca seminal	Log ₁₀ de la masa seca total de las semillas	Asignación a reservas (%)	Índice de desecación P(D-S)
Condor				
Mirador	0,37	1,30	36,63	0,93
Pavayacu	0,35	1,29	34,92	0,93
Don Bosco	0,39	1,30	38,97	0,93

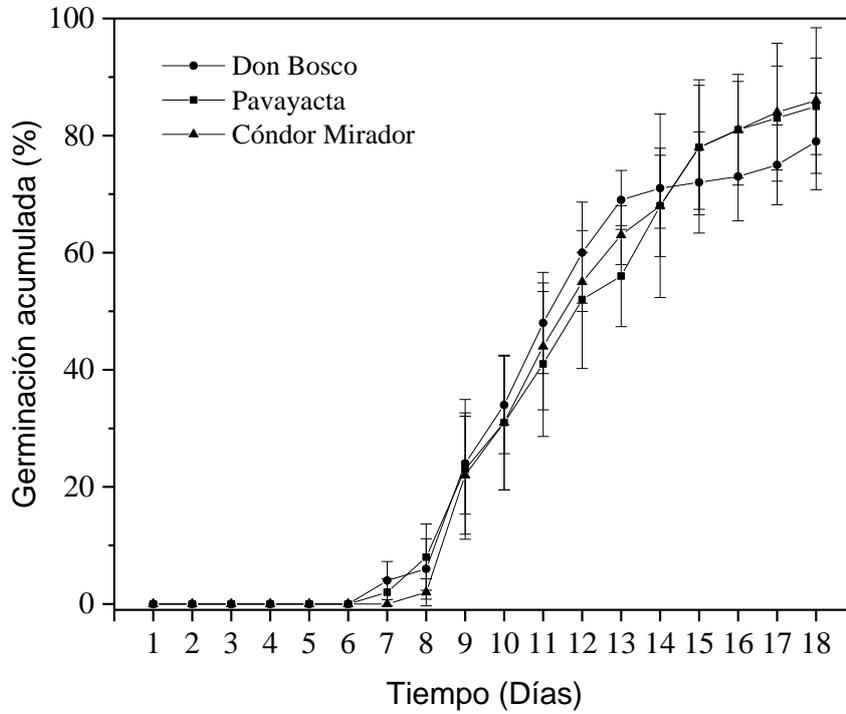
Fuente: El Autor.

4.4 Parámetros de germinación de la especie *C. cateniformis*.

Las curvas de germinación de las semillas de *C. cateniformis* mostraron un comportamiento similar para los tres sitios de estudio (Figura 8, a y b). El período de emergencia resultó entre 6 y 8 días como indicador de buena germinación. Los resultados reflejaron que a los 18 días después de la siembra aún no se alcanza la fase estacionaria determinada por un patrón de comportamiento de tipo sigmoideal en las curvas de germinación, aunque los porcentajes de germinación fueron altos. Los primeros días de la siembra se caracterizó por una fase estable precedido de una fase exponencial hasta aproximadamente los 14 días donde los porcentajes de germinación ocurrieron en forma acelerada. Mostacedo y Pinard (2001), reportaron que cuando las condiciones de humedad son óptimas las semillas de *C. cateniformis* germinan en menos de 20 días. Por su parte Valencia *et al.*, (2010) encontró que la germinación ocurrió

antes de los 5 días y finalizó a los 16 días. Estos valores fueron muy similares a los del estudio.

(a)



(b)



Figura 8. Germinación en semillas de *C. cateniformis* (a) Curva de porcentaje de germinación acumulada diaria (b) Imágenes del proceso de germinación.

Fuente: El Autor.

Los parámetros de germinación (velocidad de germinación, vigor germinativo, tiempo medio de germinación y capacidad germinativa) analizados mediante ANOVA y prueba de

comparación de rangos múltiples de Tukey mostraron que no existen diferencias significativas entre los sitios. Esto demuestra que las poblaciones de la especie respondieron de forma homogénea a la germinación, lo cual indica que la calidad fisiológica de las semillas no es una adaptación a las características locales del hábitat de esta especie, la cual se distribuye de forma preferencial en sitios con mejores condiciones, por lo que quizás las tres condiciones evaluadas pudieran ser consideradas como una metapoblación (Tabla 7).

Tabla 7. Valores medio de parámetros de germinación

Sitio	Velocidad de germinación	Vigor germinativo	Tiempo medio de germinación	Capacidad germinativa
Condor Mirador	8,52 ± 0,76 ^a	4,77 ± 0,46 ^a	6,09 ± 0,46 ^a	86±12,43 ^a
Pavayacu	8,44 ± 1,39 ^a	4,39 ± 1,02 ^a	7,09 ± 0,42 ^a	85±8,24 ^a
Don Bosco	7,54 ± 1,99 ^a	4,72 ± 1,36 ^a	7,77 ± 0,54 ^a	79±8,24 ^a

Nota: Letras iguales no muestran diferencias significativas mediante la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad.

Fuente: El Autor.

Los mecanismos que regulan el inicio de la germinación están bajo presiones selectivas; así, la variación de la capacidad germinativa entre y dentro de las especies se interpreta como una adaptación a las condiciones específicas del hábitat local y regional (Meyer *et al.*, 1997). La variación entre poblaciones de la misma especie en la respuesta germinativa frecuentemente se ha interpretado como una adaptación relacionada con las características del hábitat, particularmente con factores climáticos locales (Meyer *et al.*, 1997). Sin embargo, Hernández *et al.*, (2010) refieren que en algunas especies la variación observada entre las poblaciones no es una adaptación a las características locales del hábitat.

Las diferencias en el hábitat podrían condicionar estrategias germinativas particulares, como lo demostró (Hoyle *et al.*, 2015; Hester *et al.*, 2015; Garcés *et al.*, 2019; Vásquez *et al.*, 2019). Sin embargo, en el presente estudio no existió variación de las poblaciones en la respuesta germinativa, por lo que presumiblemente esto sea un patrón de comportamiento característico de la especie en estudio.

La velocidad de germinación analizada, utilizando el cálculo del Índice de Timson modificado, mostró que la tasa en semillas de *C. cateniformis* disminuyó en el sitio Don Bosco con un valor promedio de 7,54. Por lo tanto, la mayor velocidad de germinación se

obtuvo para las semillas que proceden del sitio Pavayacu. 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 sitio Don Bosco también presentó mayor tiempo medio de germinación y menor capacidad germinativa, no obstante, en todos los sitios los resultados fueron similares.

Estos resultados concuerdan con Arias (2012) en un estudio sobre germinación de *C. cateniformis*, reportando un porcentaje promedio de germinación de 81%. En Colombia bajo condiciones de la Amazonía (Osorio y Lozano, 2001) reportaron un porcentaje de germinación de 59% con un tiempo de germinación de 10 a 12 días. Por su parte Valencia *et al.*, (2010), también en la Amazonia Colombiana, obtuvo tasas de germinación del 65 al 95% con un índice de velocidad de germinación similar a los reportados en la presente investigación.

La contribución porcentual de la capacidad germinativa y la velocidad de germinación mostró una relación lineal fuerte, con un ajuste del 51%. Este resultado es de gran importancia ya que permite predecir la capacidad germinativa en función de la velocidad de germinación (Figura 9).

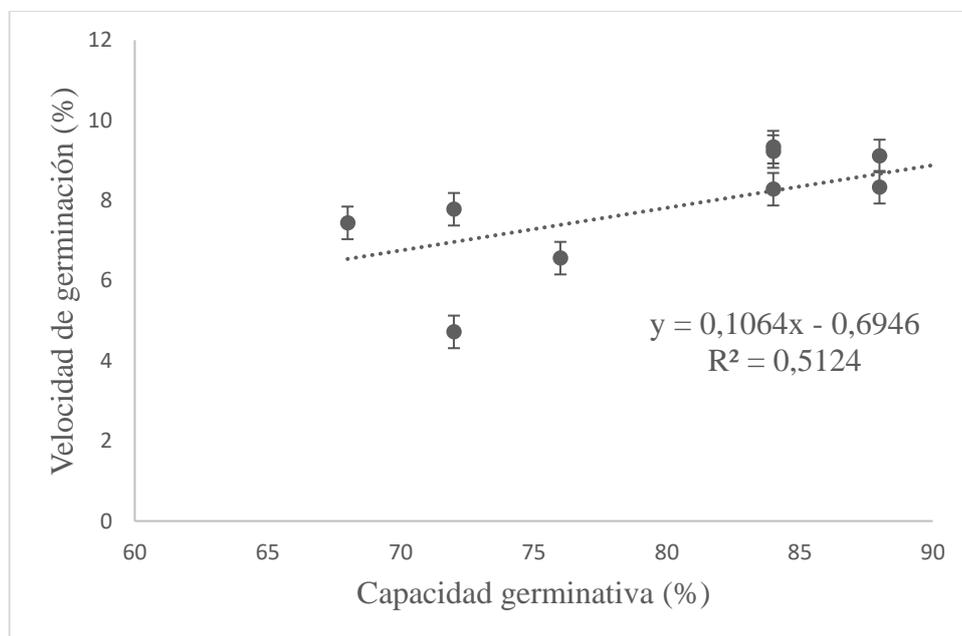


Figura 9. Relación entre capacidad germinativa y velocidad de germinación.

Fuente: El Autor.

4.5 Caracterización edáfica de los sitios de estudio.

Los resultados de la caracterización química de las variables edáficas en los tres sitios de estudio no reportaron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) en ninguna de las propiedades del suelo entre los sitios Condor Mirador, Don Bosco y Pavayacu (Tabla 8). Esto demostró que las propiedades edáficas de los sitios no determinan la respuesta de la calidad de la semilla de la especie *C. cateniformis*.

Los valores medios indicaron que son suelos ácidos, pobres en nutrientes y con un contenido medio de materia orgánica. Las variables químicas del suelo reflejaron la situación de los suelos a nivel local en los sitios donde se realizó la recolección de semillas de los árboles seleccionados, su baja fertilidad pudiera estar relacionada con los materiales parentales de los suelos amazónicos sobre los cuales se han desarrollado, determinado por su pobreza en bases intercambiables. Estos resultados se corresponden con lo reportado por Bravo *et al.*, (2015); Martín y Pérez, (2009) y Bravo *et al.*, (2017).

Estas propiedades responden a los patrones edáficos reportados para suelos amazónicos con condiciones de acidez y bajos contenidos nutricionales (Bravo *et al.*, 2017), lo cual pudiera tener un comportamiento extremo debido a los cambios de uso de suelos que se han generado en los tres sitios de estudio, caracterizados por sistemas agroforestales, rastrojos, relictos de vegetación y árboles aislados que limitan la contribución a los ciclos biogeoquímicos y su fertilidad en condiciones donde los factores climáticos y fisiográficos propician este comportamiento. En ese sentido (Bravo *et al.*, 2015) refieren que los sistemas de manejo influyen de manera importante en el comportamiento edáfico ya que puede ser modificado, bien sea mejorando su condición o degradándolo.

Tabla 8. Valores medios de las propiedades químicas del suelo en tres sitios

		Cóndor Mirador	Don Bosco	Pavayacu
	pH	5,09 ^a ± 0,35	5,25 ^a ± 0,31	4,96 ^a ± 0,29
	Al+H	3,83 ^a ± 1,43	3,91 ^a ± 0,98	5,11 ^a ± 0,99
	Al	0,83 ^a ± 0,18	0,8 ^a ± 0,36	0,8 ^a ± 0,40
Meq/100ml	K	0,06 ^a ± 0,06	0,095 ^a ± 0,04	0,05 ^a ± 0,02
	Ca	1,36 ^a ± 0,84	1,32 ^a ± 0,72	1,43 ^a ± 0,91
	Mg	0,64 ^a ± 0,35	0,69 ^a ± 0,30	0,63 ^a ± 0,35
	%	MO	3,93 ^a ± 1,03	3,43 ^a ± 0,82
Ppm	P	2,73 ^a ± 1,35	2,22 ^a ± 1,68	2,36 ^a ± 0,83

Fuente: El Autor.

4.6 Relación de las variables edáficas con la calidad de la semilla de *C. cateniformis*.

El análisis de correspondencia mostró una correlación no significativa ($p \geq 0,05$) entre los sitios que determinan el ambiente edáfico y la calidad de la semilla, con valores de inercia menores que 1 y un valor de chi cuadrado de 4,25 como reflejo de la baja correlación existente (Tabla 9). La calidad de las semillas estuvo relacionada con la sumatoria de los indicadores de calidad asociados al tamaño y parámetros de la germinación, los cuales fueron evaluados en tres categorías (alta, media y baja), lo cual manifestó una baja asociación entre las dos dimensiones analizadas relacionadas con las categorías y los sitios de estudio (Figura 10).

Estos resultados demostraron que la condición edáfica de los sitios no genera un efecto diferenciado en los indicadores de calidad de las semillas de *C. cateniformis*, por lo que pudiera resultar como un patrón característico de este grupo taxónomo que al parecer sus poblaciones se desarrollan en forma de manchas o conglomerados, siendo un elemento distintivo de su distribución predominante en especies cuyo grupo ecológico está determinado por una alta plasticidad ecológica, o sea que el ambiente edáfico no influyó en los indicadores de calidad de la semilla.

Tabla 9. Valores del análisis de correspondencia entre los sitios y los indicadores de calidad de las semillas

Dimensión	Valor	Chi			Proporción de inercia	
	propio	Inercia	cuadrado	Sig.	Explicado	Acumulado
1	0,567	0,322			0,909	0,909
2	0,18	0,032			0,091	1
Total		0,354	4,25	0,373	1	1

Fuente: El Autor.

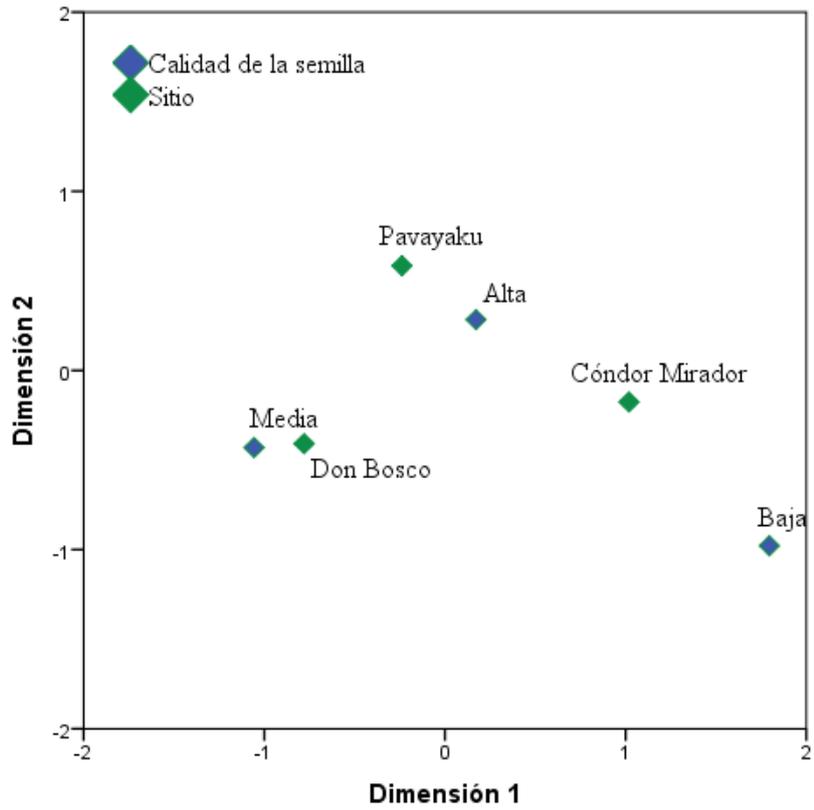


Figura 10. Distribución espacial en dos dimensiones del análisis de correspondencia.

CONCLUSIONES

- Las semillas de la especie *Cedrelinga cateniformis* procedentes de los sitios Condor Mirador, Don Bosco y Pavayacu no presentaron variación significativa en los parámetros morfológicos y las dimensiones ortogonales con excepción del espesor y el índice de esfericidad.
- La prueba de tetrazolio como indicador de calidad de la semilla reportó que son semillas viables con valores que superan el 94% para los tres sitios, en categorías de vigor alta y media con poca variabilidad entre las muestras, lo cual resultó un elemento de diagnóstico factible para medir la calidad fisiológica de las semillas de la especie en estudio.
- Los parámetros relacionados con el peso de las semillas determinados para la población de *C. cateniformis* resultaron con un patrón similar para sitios Condor Mirador, Pavayacu y Don Bosco, donde la máxima absorción de agua ocurrió en las primeras 24 horas, comprobándose que son semillas recalcitrantes sensibles a la deshidratación.
- El período de emergencia de plántulas resultó entre seis y ocho días como respuesta adecuada al proceso de germinación. Los resultados reflejaron que a los 18 días después de la siembra aún no se alcanza la fase estacionaria determinada por un patrón de comportamiento de tipo sigmoidal en las curvas de germinación, aunque los porcentajes fueron altos.
- Los indicadores de calidad de las semillas (capacidad germinativa, velocidad de germinación, vigor de germinación y tiempo medio de germinación) fueron homogéneos para los tres sitios de estudio, lo cual indica que la calidad fisiológica de las semillas no es una adaptación a las características locales del hábitat de esta especie.
- Se determinó que las propiedades edáficas no presentaron un efecto significativo con los indicadores de calidad de la semilla. El ambiente edáfico resultó similar para los sitios de estudio indicando que los suelos donde se desarrollan las manchas de vegetación de *C. cateniformis* son ácidos, pobres en nutrientes y con un contenido medio de materia orgánica.

RECOMENDACIONES

- Continuar con investigaciones relacionadas a la variación morfométrica de semillas de especies forestales con las condiciones ecológicas propias de la Amazonía.
- Presentar los resultados obtenidos a las instituciones gubernamentales encargadas del sector forestal para facilitar su difusión y dar a conocer los avances desarrollados en torno al tema de semillas.
- Fortalecer el estudio con la medición de las propiedades físicas y biológicas del suelo, de tal manera que permita tener un conocimiento amplio con las variables edáficas en condiciones de la Amazonía.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta L. (2015). Catálogo de morfología de semillas de especies forestales. Universidad Distrital José de Caldas. Ingeniería Forestal. Silvicultura de plantaciones. Bogotá – Colombia.
- Andrades Rodríguez, M. (2012). Prácticas de edafología y climatología (en línea). España, Universidad de la Rioja. 72 p. Consultado 8 ago. 2014. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/download/libro/194611.pdf>
- Arango, M. R. (2001). Calidad de semillas de soja. INTA Oliveros, Santa Fé. Argentina.
- Arias Amasifuen, V. A. (2012). Germinación de *Cedrelinga cateniformis* Ducke" Tornillo" aplicando tratamientos pre-germinativos en vivero.
- Aróstegui, V. (1992). Propagación de especies forestales nativas promisorias en Jenaro Herrera. Perú. P 45.
- Aróstegui, A. y Díaz P. (1992). Propagación de Especies Forestales Nativas Promisorias en Jenaro Herrera. IIAP. CIJM. Iquitos, Perú. P. 8-29.
- Baluarde, J.; Freitas L.; Otarola E., y Delgado, C. (2000). Cultivo del Tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke). Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). Programa de Ecosistemas Terrestres (PET). Centro de Investigaciones Jenaro Herrera –CIJH. Iquitos -Perú.
- Barioglio, C. (2006). Diccionario de las ciencias agropecuarias – 1ra ed.- Córdoba: Encuentro grupo editor. Córdoba, Argentina, 496p.
- Barrera, P. (2013). *Informe Técnico*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Programa Nacional de Forestería, Quito.
- Bernier, R. (2000). Diagnóstico de la fertilidad del suelo (en línea). In Seminario taller para productores: técnicas de diagnóstico de fertilidad del suelo, fertilización de

- praderas, cultivos y mejoramiento de praderas. Bernier V, R; Bortolameolli S, G (eds). Osorno, Chile, INIA; Centro Regional de Investigación Remehue; INIA. 117 p. (Serie Actas no. 4). Consultado 8 ago. 2014. Disponible en <http://www2.ina.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR25546.pdf>
- Bertsch, F. (1995). *La fertilidad de los suelos y su manejo*. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Bhering, M. C.; Días, D. C. F. S.; Barros, D. I. (2005). Adequação da metodologia do teste de tetrazólio para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de melancia. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 27, n. 1, p. 176-182.
- Binkley, D. (1993). *Nutrición forestal*. Primera edición. Editorial Limusa. México D.F., México. p: 13 – 19.
- Blanco, J. (2006). *Materia orgánica del suelo*. (En línea). ICA. Consultado el 01 de may. 2014. Formato PDF. Disponible en: <http://www.agronet.gov>.
- Boese, E. (1992). *Actividades agroforestales y silviculturales en la región Amazónica ecuatoriana*. Red agroforestal ecuatoriana. Quito, Ecuador. 138 p.
- Bravo, C., Ramírez, A., Marín, H., Torres, B., Alemán, R., Torres, R., ... & Changoluisa, D. (2017). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(11), 1-16.
- Bravo, C., Benítez, D., Vargas-Burgos, J. C., Alemán, R., Torres, B., & Marín, H. (2015). Socio- Environmental Characterization of Agricultural Production Units in the Ecuadorian Amazon Region, Subjects Pastaza and Napo. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*. 4 (1): 3-31.
- Campos, L. (2009). *Dendrocronología en árboles de tornillo, Cedrelinga catenaeformis Ducke, del centro de investigaciones Genaro Herrera en el Noreste de la amazonía*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

- Cañadas, A., Rade, D., Zambrano, C., Molina, C., y Arce, L. (2013). *Evaluación y manejo de fuentes semilleras de Teca (Tectona grandis Linn. f.) en la Estación Experimental Tropical Pichilinue, Ecuador.*
- Cardona Barrientos, DJ; García, J. (1990). Edafología General. Guatemala, URL, Programa de Fortalecimiento Académico de las Sedes Regionales. 50 p.
- Carvalho, T. C. *et al.*, (2013) Tetrazolium test adjustment for wheat seeds. *Journal of Seed Science*, v. 35, n. 3, p. 361-367.
- Copeland, L. O. and McDonald, M. B. (1995). *Principles of seed science and technology*. 3th (Ed.). Chapman and Hall. New York, USA. 409 pp.
- CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). (2013). Vinculación de Conocimiento y Tecnología. Guía Toma de Muestras de Suelo. Procedimiento de Muestreo. p.p. 5 – 7.
- Cuellar, I; Villegas, R; De León, M; Pérez, H. (2002). Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba. pp. 78-85.
- Custode, E y Sourdat M. 1986. Paisajes y suelos de la Amazonía ecuatoriana: entre la conservación y la explotación. *Revista del Banco Central del Ecuador* 24: 325-339.
- Czabator, F.J. (1962) Germination value: An index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science* 8(4):386-396.
- Daws, M. I.; Garwood, Nancy C. & Pritchard, H. W. (2006). Prediction of desiccation sensitivity in seeds of woody species: a probabilistic model based on two seed traits and 104 Species. *Ann. Bot.* 97 (4):667-674.
- Deminics, B. *et al.*, (2014). Tetrazolium test to evaluate *Stizolobium aterrimum* seeds quality. *American Journal of Plant Sciences*, v. 5, n. 1, p. 148-152.

- Donis Chacón, HE. (2012). Evaluación de la disponibilidad de nutrientes para el manejo de la fertilidad en el cultivo de melón *Cucumis melo* L., finca valle verde, municipio de San Jorge, departamento de Zacapa, Guatemala 2012. Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala, USAC-CUNORI. 70 p.
- Domínguez Viviancos, A. (1997). Tratado de fertilización. 3 ed. Madrid, España, Mundi Prensas. 613 p.
- Ecopar, F. E. (2002). Memoria del primer taller de capacitación Introducción al tema de las semillas forestales. Loja: semillas forestales.
- Ecuador Forestal. (2012). Ficha Técnica No: 4 Seique. Obtenido de Nombres Comunes.
- Ecuador Forestal. (15 de Octubre de 2012). Ficha Técnica No 9: Chuncho. Obtenido de Descripción Taxonómica.
- Emanoela Pereira de Paiva*, Salvador Barros Torres, João Paulo Nobre de Almeida, Francisco Vanies da Silva Sá and Renata Ramayane Torquato Oliveira. Tetrazolium test for the viability of gherkin seeds Teste de tetrazólio para avaliação da viabilidade de sementes de maxixe. Revista Ciência Agronômica, v. 48, n. 1, p. 118-124, jan-mar, 2017. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE www.ccarevista.ufc.br ISSN 1806-6690Artigo CientíficoTetrazolium
- Expoforestal Industrial S.A (2011). Sociedad Anónima para la exportación de productos forestales. Quito – Ecuador. Recuperado de <https://www.expoforestal.com.ec/index.html>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2018). *Recursos Genéticos Forestales*. Recuperado de <http://www.fao.org/forestry/fgr/es/>

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2010). *Directrices para la preparación de Informes de los Países para la situación de los recursos genéticos forestales del mundo*. Roma.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT.). (2009). Guía para la descripción de suelo. Trad. por Ronald Vargas Rojas 4 ed. Roma, IT. Cuarta ed. Roma, IT. p. 50
- FAO (2005). *Propuesta Nacional Agroforestal para el Ecuador*.
- Fernández, L y Rojas, N. (2006). Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. (En línea). Mx. Consultado el 12 de oct. 2015. Formato PDF. <http://www2.inecc.gob>.
- Flores Bendezu, Y. (2006). Ficha técnica 6 Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*): 139-141.
- Franca Neto, J.B.; Krzyzanowski, F.C.; Costa, N.P. da. El test de tetrazolio en semillas de soja. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, (1998). 72p. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 117).1. Soja - Semilla - Test de tetrazolio. I. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). II. Título. III. Série.
- Freitas Da Silva, M.; Medeiros, L.; Angélica de Lima, C. (1992). Leguminosas da Amazônia brasileira - II Cedrelinga Ducke (Leg. Mimos.).- Belém.
- Fundación Española Solidaridad Internacional (2011). Manual de Procedimientos Técnicos para el Centro de Semillas Forestales Amazónicas de Orellana. Orellana, Ecuador, SI, 63 p.
- 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

- Garcés, G. J. P., Rodés, R., Pérez, L., Hernández, L. D. R. V., & Ortega, E. (2019). Estudio comparativo de germinación de semillas de totora provenientes de tres lagos norte-andinos de Ecuador/Comparative study of germination of totora seeds from three north-andean lakes of Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 6(3), 12.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargas, R. (eds), 2014. Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg, 176 pp
- Glenner, G.G. (1990). Formazans and Tetrazolium Salts. In: Biological Stains. Edited by R.D.Lillie, M.D. Sigma Chemical Company. ISBN 0-941633-29-2. 225-235.
- González, G. (2009). *Características morfológicas de especies forestales*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería Agronómica, Colombia.
- Hartmann. (1991). Propagación de plantas principales y prácticas. México: C.E.C.S.A
- INIAP. (2011). Obtenido de www.iniap.gob.ec
- Hernández-Verdugo, S., López-España, R. G., Porras, F., Parra-Terraza, S., Villarreal-Romero, M., & Osuna-Enciso, T. (2010). Variación en la germinación entre poblaciones y plantas de chile silvestre. *Agrociencia*, 44(6), 667-677.
- Hester. M.W., J.M. Willis y T.M. Sloey (2015). Field assessment of environmental factors constraining the development and expansion of *Schoenoplectus californicus* marsh at a California tidal freshwater restoration site. *Wetlands Ecol. Manage.*
- Hoyle, G. L., K. J. Steadman, R. B. Good, E. J. McIntosh *et al.* (2015). Seed germination strategies: an evolutionary trajectory independent of vegetative functional traits. *Front. Plant Sci.*, 6 (October): 1-13.

ISTA. (2007). International Seed Testing Association.

International Seed Testing Association. (2003). ISTA Working Sheets on Tetrazolium Testing. Vol. I. Agricultural, Vegetable & Horticultural Species. Edited by Leist, N.; Kramer, S.; Jonitz, A. Bassersdorf, Switzerland. 200 p.

LAFORGEN (Latin American Forestry Genetic Resources). (2008). *Biodiversity Internacional*. Obtenido de <http://www.laforgen.org>

Leadem, C.L. (1984). Quick test for tree seed viability. Province of British Columbia, Ministry of Forest. Canadá. 45 p.

Lima, L. B.; Pinto, T. L. F.; Novembre, A. D. L. C. (2010). Avaliação da viabilidade e do vigor de sementes de pepino pelo teste de tetrazólio. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 32, n. 1 p. 060-068.

Low H. (1991). control de Calidad de Semillas en el Laboratorio. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali Colombia.

Lozano, Z; Hernández, R; Bravo, C; Rivero, C y Delgado, M. (2012). Disponibilidad de fósforo en un suelo de las sabanas bien drenadas venezolanas, bajo diferentes coberturas y tipos de fertilización. *Revista Interciencia* 11 (37): 820-827.

Martín, N. Informe específico del área de suelos. UEA. Ecuador. 2007.

Ministerio del Ambiente. (2011). *Manual de identificación, familias, géneros y árboles del Ecuador*. Ecuador.

Martín, N.J. y Pérez, G. (2009). Evaluación agroproductiva de cuatro sectores en la provincia de Pastaza en la Amazonía Ecuatoriana. *Cultivos Tropicales* 30:(1) 5-10.

- McLean, E. (1965). Aluminium. En, C. Black (Ed.), *Methods of soil analysis. Agronomy No 9. Part II* (pp. 978-998). Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy.
- Melo, M. F. F.; Varela, V. P. (2006). Aspectos morfológicos de frutos, sementes, germinação de plântulas de duas espécies florestais da Amazônia. I. *Dinizia excelsa* Ducke (Angelim-Pedra). II. *Cedrelinga catenaeformis* Ducke (Cedrorana)-Leguminosae: Mimosoideae. *Revista Brasileira de Sementes*, v.28, n.01, p.54-62.
- Mendoza, Q., & Geanella, A. (2019). Evaluación de la viabilidad de semillas de maíz (*zea mays* L.) mediante pruebas de tetrazolio y espectroscopía de infrarrojo (ft-nir).
- Meyer, S. E., P. S. Allen, and J. Beckstead. 1997. Seed germination regulation in *Bromus tectorum* (Poaceae) and its ecological significance. *Oikos* 78: 474–485.
- Mohsenin, NN. (1986) *Propiedades físicas de materiales de plantas y animales*; Gordon and Breach Science Public: New York, Gordon y Breach Science Public: Nueva York, NY Nueva York, USA, 1986; USA, 1986; pp. 1–891. pp. 1–891. ISBN 9780677213705. ISBN 9780677213705.
- Moreno M E, M E Vázquez, A Rivera, R Navarrete, F Esquivel (1988) Effect of seed shape and size on germination of corn (*Zea mays* L.) stored under adverse conditions. *Seed Sci. Technol.* 26:439-448.
- Mostacedo, B., & Pinard, M. (2001). Ecología de semillas y plántulas de árboles maderables en bosques tropicales de Bolivia. *Regeneración y silvicultura de bosques tropicales en Bolivia*, 11-29.
- Nelson, D. y Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter 1. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties (methodsofsoilan2)*, 539-579.

- Nieto, C. y Caicedo, C. (2012). Análisis reflexivo sobre el desarrollo agropecuario sostenible en la Amazónica Ecuatoriana. INIAP-EECA. Publicación Miscelánea No 405 Joya de los Sachas, Quito-Ecuador. 158 p.
- Ordóñez, L., Arbelaez, M., y Prado, L. (2004a). Manejo de semillas forestales nativas de la sierra del Ecuador y norte del Perú. *Corporación para la investigación, capacitación y apoyo técnico para el manejo sustentable de los ecosistemas tropicales [ECOPAR] y Programa Andino de Fomento de Semillas Forestales [FOSEFOR]*, 151.
- Osorio, VEM; Lozano, FU. (2001). Achapo Literatura citada (*Cedrelinga catanaeformis* Ducke), p 135-140. In: Rojas, S.G. (Ed.). Especies Promisorias de la Amazonía. Conservación, Manejo y Utilización del Germoplasma. CORPOICA/COLCIENCIASbio-medical. Instituto de Desarrollo BID. CI Macagual. 313 p.
- Palacios, W. (2011). Árboles del Ecuador. Quito-Ecuador.
- Palacios, W. (2005). Potencial etnobotánico de los territorios indígenas en el Ecuador, en revista Bosques latitud cero. Loja: bosques.
- Perdomo, C; Barbazán, M. (2012). Nitrógeno: área de suelos y aguas (en línea). Montevideo, Uruguay, Universidad de La República, Facultad de Agronomía. 74p. Consultado 8 jun. 2014. Disponible en www.fagro.eduuy/fertilidad/publica/Tomo%20n.pdf
- Peske, S. Francisco A. V. & Gerre E. M. (2012). Sementes: Fundamentos científicos e tecnológicos. 3. ed. rev. E ampl. Pelotas: Ed. Universitaria/UFPel.573p.
- Pernús Alvarez, M., Sánchez Rendón, J. A., Álvarez Montes de Oca, J. C., & Oviedo Prieto, R. (2018). Rasgos funcionales de semillas de *Pachira emarginata* (Bombacaceae), un árbol en Peligro Crítico del occidente de Cuba.
- Perry D A (1972). Seed vigour and field establishment. Hort. Abstr. 42:334-342

- Pinedo, M., Layne, M., y Pinedo Panduro y Barletti, J. (2001). Métodos etnobotánicos para predecir el sexo y facilitar el cultivo del aguaje (*Mauritia flexuosa*) en sistemas agroforestales. Desarrollo Sostenible en la Amazonía. Quito.
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia El Triunfo. (2015). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial.*
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Canelos. (2015). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial.*
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Simón Bolívar. (2015). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural Simón Bolívar.*
- Presidencia de la República, R. (2015). Registro oficial N° 272 –Lunes 23 de Febrero del 2015. Dado en el Palacio Nacional, en Quito, a 23 de febrero del 2015. Quito, EC.
- Rao, K. N., Hanson, J., Dulloo, E. M., Ghosh, K., Nowell, D., & Lirende, M. (2006). Manual para el manejo de semillas en Bancos de Germoplasma. *Manual para bancos de germoplasma. Biodiversity International.*
- Reino-Molina, J. J., Montejo-Valdés, L. A., Sánchez-Rendón, J. A., Martín, M., & Jesús, G. (2017). Características seminales de cinco variedades de morera (*Morus alba* L.) cosechadas en Matanzas, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 40(4), 276-280.
- Reynel C., Pennington R., T., Flores C., Daza A. (2003). Ficha silvicultural de *Cedrelinga catenaeformis* Ducke.
- Rucks, L; García, F; Kaplan, A; Ponce de León, J. y Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. (En línea). UR.Consultado 09 de jul. 2014. Formato PDF. Disponible en <http://www.fagro.edu>.

- Samaniego, C., Prado, L., Ordóñez L., Díaz, M., Zambrano L., Papa R. (2011). *Árboles nativos de Orellana, Amazonía del Ecuador*. Guía técnica para la identificación, fenología, usos y características de árboles y maderas. Quito, Ecuador, SI, 152 p.
- Samaniego, C., Ordóñez, O., Prado, L., y Morocho, M. (2005). *Las fuentes semilleras y semillas forestales nativas de Loja y Cañar: participación social en el manejo*. Loja, Ecuador: Fundación Arcoiris-Fosefor-Asociación de Agrónomos Indígenas del Cañar.
- Sánchez, J. A.; Montejo, Laura & Pernús, Mayté. (2015). Germinación de nuestras semillas: factor de éxito en la restauración ecológica. En: L. Menéndez, M. Arellano and P. M. Alcolado, eds. ¿Tendremos desarrollo socioeconómico sin conservación de la biodiversidad? Experiencias del Proyecto Sabana-Camagüey en paisajes productivos. La Habana: Editorial AMA. p. 130-145.
- Sánchez, J. A.; Muñoz, Bárbara & Montejo, Laura. (2009). Rasgos de semillas de árboles en un bosque siempreverde tropical de la Sierra del Rosario, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 32 (2):141-164.
- Santos, M. A. O.; Novembre, A. D. L. C.; Marcosfilho, J. (2007). Tetrazolium test to assess viability and vigour of tomato seeds. *Seed Science and Technology*, v. 35, n 1, p. 213-223.
- Sarmiento, M. B. *et al.* (2013). Teste de tetrazólio para avaliação da qualidade fisiológica em sementes de goiabeira-serrana (*Acca sellowiana* O. Berg Burret). *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 35, n. 1, p. 270-276.
- Silva, R. C. *et al.* (2013). Adaptação do teste de tetrazólio para avaliação da viabilidade e do vigor de sementes de girassol. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 48, n. 1, p. 105-113.
- Souza, C. R. *et al.* (2010). Tetrazolium test for evaluating triticale seed viability. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 32, n. 3, p. 163-169.

- Snook, L.K., Cámara-Cabrales, L. y Matthew, J.K. (2005). Six years of fruit production by mahogany trees (*Swietenia macrophylla* King): patterns of variation and implications for sustainability. *Forest Ecology and Management* 206 (1-3): 221-235.
- Tapia, C., Zambrano, E., y Montero, A. (2008). Estado de los recursos fitogenéticos para la Agricultura y la Alimentación. Quito.
- Tapia, C. Z. (2008). Estado de los recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación. Quito: Iniap.
- Valencia, W. H., Useche, F. L., Londoño, C. H., & Díaz, A. C. (2010). GERMINACIÓN DEL ACHAPO (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke-LEGUMINOSACEAE) SOMETIDA A DIFERENTES TRATAMIENTOS EN LA AMAZONIA COLOMBIANA. *Ingenierías & Amazonia*, 3(2).
- Valencia, F. (2006). Suelo de la selva amazónica. Perú. Recuperado el 10 de octubre del 2017. De <http://flor-amazonas.blogspot.com/2008/04/suelo-amaznico.html>
- Vásquez, W., Pupiales, P., Viteri, P., Sotomayor, A., Feican, C., Campaña, D., & Viera, W. (2019). Escarificación química y aplicación de ácido giberélico para la germinación de semillas de cultivares de mora (*rubus glaucus* benth). *Interciencia*, 44(3), 159-164.
- Vásquez, A. Santiago, G. Estrada, A. (2002). Influencia del pH en el crecimiento de quince cepas de hongos ectomicorrizógenos. *Serie Botánica* 73 (1): 1-15.
- Victoria T., Jorge A.; Bonilla C., Carmen R.; Sánchez O., Manuel S. (2006). Viabilidad en tetrazolio de semillas de caléndula y eneldo *Acta Agronómica*, vol. 55, núm. 1, Universidad Nacional de Colombia Palmira, Colombia. *Acta Agronómica* ISSN: 0120-2812

- Vidaurre H. (1991). Diseminación de Semillas de “Tornillo”. Temas forestales N° 4. Proyecto de Capacitación, Extensión y Divulgación Forestal COTESU/INTERCOO-PERATION/DGFF. Ucayali, Perú. 43 pág.
- Vidaurre, A. H. (1994). Balance de Experiencias Silviculturales con *Cedrelinga catenaeformis* Ducke (Mimosoideae) en la Región de Pucallpa, Amazonía Peruana (Tesis de Magíster). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Programa de Enseñanza, Área de Postgrado. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 129 pp.
- Willan, R. (1991). Guía para la Manipulación de semillas forestales, con especial referencia a los trópicos. *Compilada para el Centro de semillas forestales de DANIDA. Estudio FAO.*
- Wyse SV, Dickie JB. (2018). Taxonomic affinity, habitat and seed mass strongly predict seed desiccation response: a boosted regression trees analysis based on 17539 species. *Annals of Botany*. DOI: 10.1093/aob/mcx128.
- Zottl, H. y Tschinke, H. (1971). Nutrición y fertilización forestal: Una guía práctica. Centro de publicaciones de la universidad Nacional de Colombia / F.A.O. Medellín, Colombia. p: 8-19.