



Revista de CIENCIAS AMBIENTALES

Tropical Journal of Environmental Sciences



Variabilidad intraespecífica en la calidad de semillas de especies forestales nativas en bosques montanos en el sur del Ecuador: Implicaciones para la restauración de bosques

Intraspecific Variability in Seed Quality of Native Tree Species in Mountain Forests in Southern Ecuador: Implications for Forest Restoration

Ximena Palomeque^a, Andrea Maza^b, Juan Pablo Inamagua^c, Sven Günter^d, Patrick Hildebrandt^e, Michael Weber^f y Bernd Stimm^g

- ^a Bióloga y Doctora en Ciencias Forestales, Docente e investigadora y responsable del Laboratorio de Semillas Leñosas, Facultad de Ciencias Agropecuarias y el Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales de la Universidad de Cuenca, Ecuador, ximena.palomeque@ucuenca.edu.ec
^b Ingeniera Ambiental, investigadora del laboratorio de semillas forestales, Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales, andrea.mazal@ucuenca.ec
^c Ingeniero Agropecuario y Master en Agroforestería Tropical, Docente e investigador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y el Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales de la Universidad de Cuenca, Ecuador, juan.inamagua@ucuenca.edu.ec
^d Ingeniero Forestal y Doctor en Ciencias Forestales, director del área de manejo forestal en el Thünen Institute of International Forestry and Forest Economics, Alemania, y profesor de la Universidad Técnica de Munich, Alemania, sven.guenter@thuenen.de
^e Ingeniero Forestal y Doctor en Ciencias Forestales, especialista en ecología de bosques tropicales, actualmente es investigador en la Universidad Técnica de Munich, Alemania, hildebrandt@tum.de
^f Ingeniero Forestal y Doctor en Ciencias Forestales, especialista en reforestación y profesor principal de la Universidad Técnica de Munich, Alemania, m.weber@forst.tu-muenchen.de
^g Ingeniero Forestal y Doctor en Ciencias Forestales, especialista en ecología de semillas y reforestación, y profesor principal en la Universidad Técnica de Múnich, Alemania, stimm@mytum.de

Director y Editor:

Dr. Sergio A. Molina-Murillo

Consejo Editorial:

Dra. Mónica Araya, Costa Rica Limpia, Costa Rica
Dr. Gerardo Ávalos-Rodríguez. SFS y UCR, USA y Costa Rica
Dr. Manuel Guariguata. CIFOR-Perú
Dr. Luko Hilje, CATIE, Costa Rica
Dr. Arturo Sánchez Azofeifa. Universidad de Alberta-Canadá

Asistente:

Rebeca Bolaños-Cerdas

Editorial:

Editorial de la Universidad Nacional de Costa Rica (EUNA)



Los artículos publicados se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) basada en una obra en <http://www.revistas.una.ac.cr/ambientales>, lo que implica la posibilidad de que los lectores puedan de forma gratuita descargar, almacenar, copiar y distribuir la versión final aprobada y publicada del artículo, siempre y cuando se mencione la fuente y autoría de la obra.



Variabilidad intraespecífica en la calidad de semillas de especies forestales nativas en bosques montanos en el sur del Ecuador: Implicaciones para la restauración de bosques

Intraspecific Variability in Seed Quality of Native Tree Species in Mountain Forests in Southern Ecuador: Implications for Forest Restoration

Ximena Palomeque^a, Andrea Maza^b, Juan Pablo Inamagua^c, Sven Günter^d, Patrick Hildebrandt^e, Michael Weber^f y Bernd Stimm^g

[Recibido: 31 de diciembre 2016; Aceptado: 18 de abril 2017; Corregido: 19 de mayo 2017; Publicado: 01 de julio 2017]

Resumen

Uno de los aspectos importantes a considerarse en la producción eficiente de plántulas con fines de restauración es la calidad de semillas y su variabilidad. El objetivo de este estudio fue evaluar los parámetros de semillas de acuerdo con las reglas del “International Seed Testing Association” entre diferentes árboles madre o individuos de siete especies nativas (*Cedrela montana*, *Morella pubescens*, *Inga acreana*, *Tabebuia chrysantha*, *Ocotea heterochroma*, *Oreocallis grandiflora* y *Myrcianthes rhopaloides*) en dos bosques de montaña del sur del Ecuador. Estas especies fueron seleccionadas por la importancia ecológica, socioeconómica, y su gran potencial para la restauración. De un total de 35 árboles madre de todas las especies, se colectaron las semillas en sus respectivos periodos de fructificación, y en el laboratorio fueron analizados los siguientes parámetros: pureza, peso, contenido de humedad y germinación; adicionalmente se determinó el coeficiente de velocidad de germinación. Los resultados mostraron una similitud intraespecífica en cada especie para la mayoría de los parámetros; no obstante, el peso presentó alta variabilidad intraespecífica para todas las especies. El parámetro germinación obtuvo diferencias entre individuos para *C. montana*, *T. chrysantha*, *O. heterochroma* y *M. rhopaloides*. En cuanto a la velocidad de germinación, individuos de especies como *O. grandiflora* e *I. acreana* mostraron un alto coeficiente en contraste a los individuos de *O. heterochroma* y *M. pubescens*. La información generada en este estudio podría ser el primer paso en la formulación de pautas para la producción masiva de plántulas de especies nativas con fines de restauración.

Palabras claves: Andes, árboles madre, ISTA, producción de plántulas, restauración.

^a Bióloga y Doctora en Ciencias Forestales, Docente e investigadora y responsable del Laboratorio de Semillas Leñosas, Facultad de Ciencias Agropecuarias y el Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales de la Universidad de Cuenca, Ecuador, ximena.palomeque@ucuenca.edu.ec

^b Ingeniera Ambiental, investigadora del laboratorio de semillas forestales, Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales, andrea.mazal@ucuenca.ec

^c Ingeniero Agropecuario y Master en Agroforestería Tropical, Docente e investigador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y el Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales de la Universidad de Cuenca, Ecuador, juan.inamagua@ucuenca.edu.ec

^d Ingeniero Forestal y Doctor en Ciencias Forestales, director del área de manejo forestal en el Thünen Institute of International Forestry and Forest Economics, Alemania, y profesor de la Universidad Técnica de Munich, Alemania, sven.guenter@thuenen.de

^e Ingeniero Forestal y Doctor en Ciencias Forestales, especialista en ecología de bosques tropicales, actualmente es investigador en la Universidad Técnica de Munich, Alemania, hildebrandt@tum.de

^f Ingeniero Forestal y Doctor en Ciencias Forestales, especialista en reforestación y profesor principal de la Universidad Técnica de Munich, Alemania, m.weber@forst.tu-muenchen.de

^g Ingeniero Forestal y Doctor en Ciencias Forestales, especialista en ecología de semillas y reforestación, y profesor principal en la Universidad Técnica de Múnich, Alemania, stimm@mytum.de



Abstract

One of the most important aspects in efficient plant production for restoration purposes is seed quality and its variability. The main goal of this study was to evaluate seed parameters according to the rules of “International Seed Testing Association” among different mother trees or individuals of seven native tree species (*Cedrela montana*, *Morella pubescens*, *Inga acreana*, *Tabebuia chrysantha*, *Ocotea heterochroma*, *Oreocallis grandiflora* and *Myrcianthes rhopaloides*) in two mountain forests in the Southern of Ecuador. These species were selected based on the ecological, socioeconomic importance, and their high potential for restoration. From a total of 35 mother trees for all species, seeds were collected in their fructification periods, and in the laboratory the following seed parameters were analyzed: purity, seed weight, moisture content, and germination; in addition, the coefficient of velocity of germination was determined as well. The results showed an intraspecific similarity in each species for the majority of seed parameters. However, the seed weight showed a high intraspecific variability for all species. The germination parameter showed differences among individuals for *C. montana*, *T. chrysantha*, *O. heterochroma* and *M. rhopaloides*. In regard to the coefficient of velocity of germination, of species such as *O. grandiflora* and *I. acreana* showed a high coefficient in contrast to the individuals of *O. heterochroma* and *M. pubescens*. The information generated in this study could be a first step in the formulation of guidelines for the mass plant production for restoration purposes.

Keywords: Andes, ISTA, mother tree, restoration, seedling production.

1. Introducción

En los últimos años Ecuador ha emprendido varios programas de reforestación y restauración, y actualmente tiene como meta reforestar 220000 ha para el periodo 2014-2017 en el territorio continental, de tal manera que la restauración forestal sea equivalente a la tasa de deforestación (Ministerio de Ambiente [MAE], 2014). Así mismo Ecuador es parte la aspiración global de restauración como es “Bonn Challenge”, que implica aportar con 150 millones de hectáreas para el 2020. Sin embargo, para cumplir con estas metas nacionales e internacionales a través del uso de especies nativas, se necesita de información de partida acerca de la ecología y biología de semillas, lo cual es muy limitado para la región tropical Andina.

Dentro de los esfuerzos de restaurar áreas degradadas es común realizarlo a través de la técnica de plantar árboles, conocida también como la técnica de reforestación o aforestación (Bare & Ashton, 2016; Lamb, Erskine & Parrotta, 2005), para lo cual se requiere seleccionar las especies más idóneas de acuerdo con los objetivos y necesidades de las restauración, y de allí proceder a la colección de semillas, germinación y producción de plántulas (Lamb et al., 2005). Otra técnica de restauración es la siembra directa de semillas, que también requiere de un gran número de semillas (Cole, Holl, Keene & Zahawi, 2011; Doust, Erskine & Lamb, 2008), que deben ser de calidad.

La restauración de bosques a una escala de paisaje con las técnicas de reforestación, requiere una alta inversión económica (Lamb, 2012); sin embargo, parte del éxito de estos proyectos está condicionado a la adecuada selección de especies, procedencias y calidad de plántulas (Stimm et al., 2008; Weber et al., 2013). Un inadecuado material vegetal de la plantación, cuya composición genética no se adapta a las condiciones ambientales en el sitio a restaurar, podría tener poco o nada de éxito. La identificación de remanentes de bosques nativos conservados y las áreas protegidas (parques nacionales, bosques protectores, entre otros) son potenciales fuentes semilleras. Ahí se identifican los árboles madre que proveen de semillas, cuyo material genético es considerado una buena práctica para la restauración y la conservación de la biodiversidad genética dentro de una misma especie (O'Brien &



Krauss, 2010; Thomas et al., 2014). Otros autores mencionan que si se considera que las plantas están respondiendo al cambio climático, la colección de semillas podía ser de fuentes semilleras que contengan las condiciones climáticas futuras (Booth, 2016; Breed, Stead, Ottewell, Gardner & Lowe, 2013).

Por otra parte, la región tropical andina alberga una gran diversidad de especies de árboles, por ejemplo, en el Bosque de San Francisco, localizado en la provincia de Zamora Chinchipe al Sur del Ecuador, se han registrado más de 280 especies en apenas 1000 ha (Homeier, 2008) y de estas muy pocas han sido utilizadas en la región sur del Ecuador en reforestación como, por ejemplo, *Alnus acuminata*, *Cedrela montana*, *Tabebuia chrysantha* (Sin. *Handroanthus chrysanthus*) y *Morella pubescens* (Bare & Ashton, 2016; Günter et al., 2009). A pesar que es bien conocido que muchas especies nativas tienen la capacidad de adaptarse mejor que las especies exóticas (Bischoff, Vonlanthen, Steinger & Müller-Schärer, 2006; Lamb, 2012), grandes áreas en el paisaje andino han sido reforestadas con pino (*Pinus spp*) y eucalipto (*Eucalyptus spp*) (Stimm et al., 2008), este hecho también ha sido reportado en la provincia del Azuay al sur del Ecuador por Borrero (1989). Sin duda, hay especies nativas promisorias para la restauración como son *Alnus acuminata* y *Morella pubescens* en pastos abandonados en el sur del Ecuador (Günter et al., 2009; Palomeque, 2012). En general, las especies nativas además de adaptarse a las condiciones bióticas y abióticas locales, mantienen interrelaciones ecológicas con vectores de polinización y agentes de dispersión (Du, Mi, Liu, Chen & Ma, 2009) y, consecuentemente, contribuyen a la conservación de la biodiversidad y otros servicios ecosistémicos (Baral, Guariguata & Keenan, 2016; Ren, Lü & Fu, 2016).

La germinación es la etapa inicial y crucial en la ontogenia de las plantas, sea en los procesos de regeneración de especies silvestres (Dürr, Dickie, Yang & Pritchard, 2015; Norden et al. 2009), así como también para la producción de plántulas para la restauración activa, que implica un esfuerzo humano activo para acelerar e influir en la trayectoria sucesional de los ecosistemas en recuperación (Holl & Aide, 2011). Varios aspectos morfológicos (e.g. color, forma, tamaño, peso) y fisiológicos de semillas (eg. dormancia) deben ser caracterizados a nivel de árboles y poblaciones de una especie y relacionar con la germinación y el crecimiento inicial de plántulas. Se conoce que la masa de semillas es un rasgo clave para diferenciar ecotipos, tal como ocurrió en las tres poblaciones estudiadas para *Cicuta virosa*, aunque el porcentaje de germinación fue similar (Shin & Kim, 2013), el tamaño de la semillas es otra de las características que determina la capacidad germinativa de una semilla, pues estudios reportan que semillas grandes tienen mayor capacidad germinativa (Jacquemyn, Brys & Hermy 2001). Por otra parte, la germinación de semillas está asociada a factores como, por ejemplo, temperatura, agua, salinidad (Wang et al., 2016); no obstante, hay relaciones entre factores ecológicos, morfológicos y fisiológicos, por ejemplo, hay relación del requerimiento de la luz y la masa de las semillas (Milberg, Andersson & Thompson, 2000), temperatura con la germinación (Souza, Gasparetto, Lopes & Barros, 2016; Yang et al., 2008), absorción de agua de semillas con la dinámica de germinación (Wierzbicka & Obidzinska, 1998). Por otra parte, la velocidad de germinación provee información útil sobre el grado de pérdida de dormancia de semillas y las condiciones favorables de germinación; así mismo, el tiempo de germinación de una semilla en relación con otras semillas puede influir en la cantidad de recursos disponibles para una plántula (Baskin & Baskin, 2014). Para viveristas, los parámetros de germinación como: tiempo promedio de germinación, velocidad de germinación o la capacidad de germinación y sincronía de germinación son aspectos importantes en el manejo de plántulas, así como también para optimizar los costos de producción. La provisión de semillas y el conocimiento de



la calidad han sido identificados como los principales retos en la producción de plántulas de calidad por viveristas en otros países tropicales (Dedefo, Derero, Tesfaye & Muriuki, 2016).

La determinación de calidad de semillas es necesaria para garantizar una reproducción eficiente de plántulas sanas, resistentes, vigorosas que puedan ser utilizadas en programas de restauración. El proceso de la colecta y el mercado de semillas forestales está bajo normas nacionales como es el caso del Ecuador (MAE 2004), pero hay déficits en la aplicación y en el conocimiento sobre las características específicas de las semillas de muchas especies nativas. Una forma de incrementar este conocimiento para mejorar el proceso de la reproducción es a través de la aplicación de protocolos estandarizados en el campo de las semillas como es International Seed Testing Association (ISTA), cuyos parámetros de análisis son: pureza, peso, contenido de humedad y germinación. Cabe mencionar, que de acuerdo con nuestro conocimiento, estos parámetros no han sido utilizados previamente para evaluar el aporte de los diferentes árboles semilleros en la restauración, de ahí que el presente estudio plantea los siguientes objetivos: 1) Evaluar los parámetros de pureza (%), peso (g), contenido de humedad (%) y germinación (%) entre individuos de siete especies nativas en bosques montanos. 2) Conocer la velocidad de germinación de las siete especies forestales nativas en cada bosque. Este tipo de investigación puede ser una primera aproximación a estudios de las fuentes semilleras, para generar pautas para la producción masiva de plántulas de especies nativas para la restauración en Ecuador y otros países en Latinoamérica que tienen programas ambiciosos y urgentes.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

2.1.1 Bosque San Francisco (BSF)

El BSF está localizado en la Reserva de San Francisco, en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Podocarpus (713060 UTMX, 9560610 UTM Y), y pertenece a la provincia de Zamora Chinchipe al sur de Ecuador (Figura 1). La precipitación en el Valle de San Francisco está relacionada con la gradiente altitudinal, por ejemplo, a 1 800 m s.n.m. la precipitación anual es de 2 300 mm y a los 3 800 m s.n.m. la precipitación es de 6 700 mm (Breuer, Windhorst, Fries & Wilke, 2013). La temperatura promedio (T) anual es de 15,3 °C (Bendix et al., 2006a), donde la temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$) registrada es 29,1 °C y la temperatura mínima ($T_{\text{mín}}$) de 5 °C (Bendix, Rollenbeck, Richter, Fabian & Emck, 2008). Los suelos presentes en esta área son de tipo histosoles asociados con stagnosoles, cambisoles y regosoles, mientras que los umbrisoles y leptosoles están presentes en menor grado (Liess et al., 2009). Las especies estudiadas en el bosque están ubicadas, en un rango de 1 805 a 2 150 m s.n.m. (Kübler et al., 2016). La mayoría de especies son catalogadas como siempre verdes aunque *Tabebuia chrysantha* y *Cedrela montana* son de las pocas especies caducifolias (Bendix et al. 2006b).

2.1.2 Bosques del parque nacional El Cajas

El bosque de LLaviucu (BLI) con coordenadas 705650 UTMX, 9685499 UTM Y y el bosque de Mazán (BMz) con coordenadas 708064 UTMX, 9682048 UTM Y, están localizados en el parque nacional El Cajas, provincia del Azuay, en el centro-sur del Ecuador (Figura 1). Ambos bosques



están ubicados desde 3 103 y 3 178 m s.n.m. respectivamente y corresponden al ecosistema bosque siempreverde montano alto (Sierra, 1999). En estos bosques la precipitación anual para el año 2015 fue de 1 111mm, de acuerdo con la estación meteorológica instalada en el bosque de Llaviuco (ETAPA EP, 2015).

Según sensores de humedad y temperatura (HOBO Pro v2 Internal) instalados en ambos bosques por el periodo de un año (2015–2016), se registró que el BLI tiene una temperatura promedio anual de 9,66°C, $T_{\text{máx}}$ de 12,33 °C y $T_{\text{mín}}$ de 6,88 °C; humedad relativa (HR) promedio registrada de 94,89%, $HR_{\text{máx}}$ de 100% y $HR_{\text{mín}}$ de 77,42%. En el BMz la temperatura promedio anual registrada ha sido de 10,05 °C, $T_{\text{máx}}$ de 12,34 °C y $T_{\text{mín}}$ de 7,25 °C; HR promedio de 94,83%, $HR_{\text{máx}}$ registrada 100% y $HR_{\text{mín}}$ de 71,42%. En cuanto a los suelos en los dos bosques, son de tipo alfisoles, inceptisoles y cambisoles (suelos de bosque) y en menor cantidad hay la presencia de suelos litosoles, gleysoles e histosoles (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP], 2002; Minga, 2000).

Cabe indicar que, debido a la cercanía de los bosques de BLI y BMz en el parque nacional El Cajas, presentaron similitud en las condiciones de clima y a la falta de significancia estadística para las variables de temperatura y humedad relativas entre los sitios, se decidió considerar con un solo bosque, y de aquí en adelante nos referimos como parque nacional El Cajas.

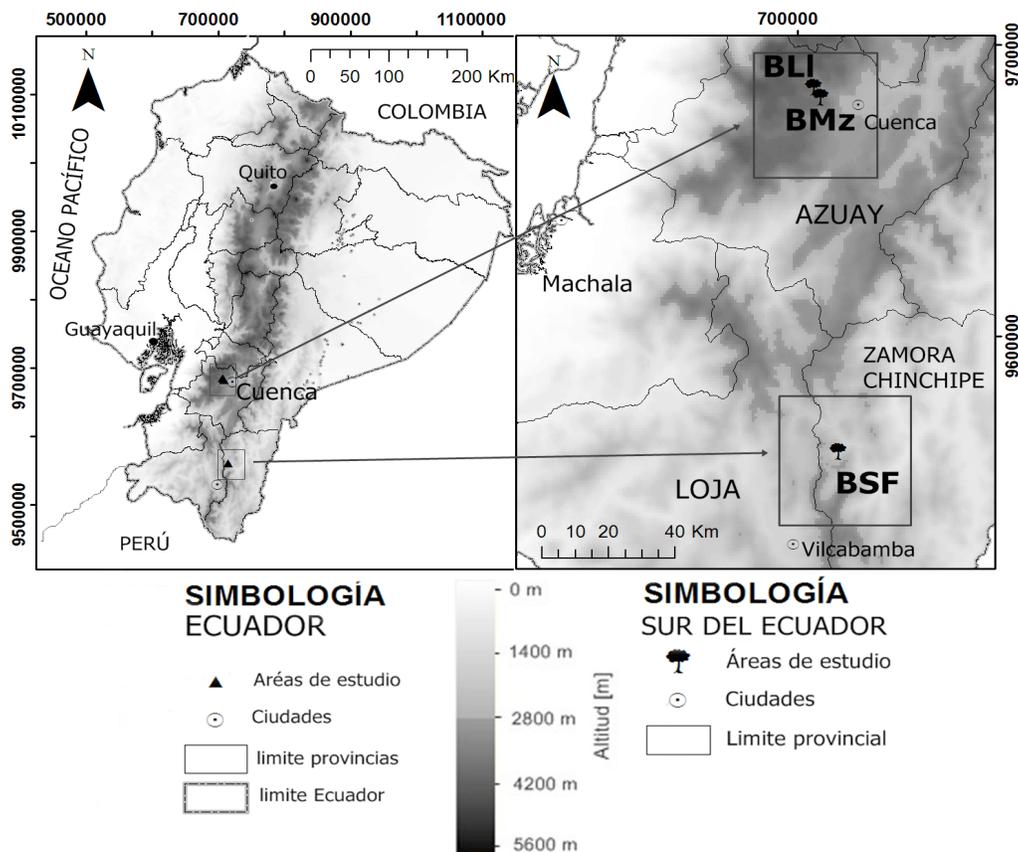


Figura 1. Fuentes semilleras de los bosques montanos: San Francisco (BSF) en la provincia de Zamora Chinchipe, Mazán (BMz) y LLaviuco (BLI) en el parque nacional El Cajas en la provincia del Azuay, Ecuador.



2.1.3 Especies estudiadas y colección de semillas

Las especies seleccionadas en el bosque de San Francisco fueron: *Cedrela montana* Moritz ex Turcz, *Morella pubescens* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Wilbur, *Inga acreana* Harms, *Tabebuia chrysantha* (Jacq.) G. Nicholson. En los bosques del parque nacional El Cajas se estudiaron: *Ocotea heterochroma* Mez & Sodiro, *Oreocallis grandiflora* (Lam.) R. Br. y *Myrcianthes rhopaloides* (Kunth) McVaugh. Cabe mencionar que todas las especies han sido seleccionadas por su importancia social, económica y ecológica. En el **Cuadro 1** se especifica la importancia de cada una de las especies en estudio.

Cuadro 1. Importancia ecológica y socioeconómica de siete especies nativas de los bosques de montaña del sur del Ecuador

Bosque	Especie	I. Ecológica	I. Socioeconómica	Referencia
San Francisco	<i>Cedrela montana</i>	- Agroforestería - Sombrío de café - Refugios y sombras	- Uso Maderable - Uso medicinal - Ornamental	(Navarrete, 2007; Restrepo & Murillo, 2007) (Grijalva & Checa, 2012) (Navarrete, 2007)
	<i>Myrica pubescens</i>	- Mejora el suelo y aporta nitrógeno - Alimento de avifauna - Control de erosión		(Grijalva & Checa, 2012) (Navarrete, 2007)
	<i>Inga acreana</i>	- Integradores de sistemas agroforestales - Refugio y sombra - Mejora el suelo y aporta nitrógeno - Agroforestería	- Leña	(Grijalva & Checa, 2012) (Román, De Liones, Sautu, Deago & Hall, 2012)
	<i>Tabebuia chrysantha</i>	- Sistemas agroforestales y silvopastoriles - Control de la erosión - Cerca viva - Melífera	- Ornamental - Uso maderable - Uso medicinal	(Román et al., 2012) (Navarrete, 2007)
Parque nacional El Cajas	<i>Ocotea heterochroma</i>	- Alimento de aves (tucanes), observación personal	- Uso maderable - Ornamental	(Vargas, 2002) (Rozo, 2015)
	<i>Oreocallis grandiflora</i>	- Posible uso como alimento	- Uso maderable - Uso medicinal - Ornamental - Agroartesanal	(Van den Eynden, Cueva, Cabrera & Eynden, 2003) (Lojan, 1992; Morocho, 2012)
	<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	- Alimento avifauna - Control de la erosión - Manejo de quebradas y ríos	- Uso maderable - Uso medicinal - Ornamental	(Navarrete, 2007)



En los diferentes bosques se identificaron al menos 8 árboles madre o individuos por cada especie (Total 35 árboles) con las mejores características fenotípicas tales como: fuste recto, sin ramificaciones en la base, ausencia de enfermedades y plagas, estos árboles estuvieron ampliamente distribuidos en los bosques estudiados para garantizar la variabilidad genética, sin embargo, no fue posible coleccionar semillas de todos estos individuos debido a que no todos produjeron semillas al mismo tiempo (**Cuadro 1**). Con base en calendarios fenológicos (información no publicada) se pudo determinar la época (meses) de producción de frutos maduros de las especies en estudio, sin embargo, visitas previas a los bosques fueron necesarias para comprobar que los frutos y semillas hayan alcanzado la madurez para su colección. La cosecha de semillas en el bosque de San Francisco se realizó durante 2008–2009, mientras que en los bosques de El Cajas durante 2015 y 2016 (**Cuadro 2**).

Cuadro 2. Especies estudiadas, fechas, sitios y número de individuos colectados por cada especie y características principales de las especies

Especie	Fecha de colección	N.º de individuos	Bosques de colección	Estatus de sucesión	Familia
<i>Cedrela montana</i>	Agosto 2008	4	BSF	Avanzada	Meliaceae
<i>Morella pubescens</i>	Marzo 2008	3	BSF	Temprana	Myricaceae
<i>Inga acreana</i>	Junio 2008	2	BSF	Temprana	Fabaceae
<i>Tabebuia chrysantha</i>	Noviembre-diciembre 2008	6	BSF	Avanzada	Bignoniaceae
<i>Oreocallis grandiflora</i>	Septiembre-octubre 2015	9	PNC	Temprana	Proteaceae
<i>Ocotea heterochroma</i>	Noviembre-diciembre 2015	5	PNC	Avanzada	Lauraceae
<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	Enero 2016	6	PNC	Avanzada	Myrtaceae

BSF= Bosque San Francisco, PNC= Parque nacional El Cajas

2.1.4 Experimento en el laboratorio

De los árboles madre identificados en los bosques se procedió a coleccionar los frutos maduros de sus copas, se excluyeron las semillas encontradas en el suelo, y fueron llevadas a los laboratorios de semillas de la Universidad Nacional de Loja para la procedencia del Bosque de San Francisco y al laboratorio de la Universidad de Cuenca para la procedencia de los bosques del parque nacional El Cajas. El protocolo utilizado para los análisis de todas las especies se basó en las reglas internacionales de “The International Seed Testing Association” (ISTA, 2007), los parámetros analizados fueron: Contenido de humedad (%), pureza (%), peso (g) y germinación (%). Se aplicó un tratamiento de desinfección previo a la prueba de germinación, para evitar contaminación por hongos y bacterias durante el proceso de germinación (**Cuadro 3**); para la siembra de semillas se utilizaron cajas petri con papel toalla y se mantuvo la humedad constante con agua destilada durante el tiempo de monitoreo de la germinación, excepto para la especie *O. heterochroma*, cuyo sustrato fue turba estéril, esto debido al tamaño de la semilla (>1cm).



Las siguientes formulas fueron utilizadas para peso, pureza, contenido de humedad y germinación.

Pureza: En el lote de semillas recolectado en campo existe una fracción de materia inerte que viene con las semillas antes de ser procesadas, a esto se le conoce como impurezas. El objetivo del análisis de pureza es identificar partículas inertes que constituyan la muestra (semillas vanas, insectos o parte de ellos, tierra y piedras pequeñas). Para esto se diferencia el peso entre el lote de semillas con impurezas y el peso después de remover las impurezas. Para determinar la pureza se utilizaron cuatro réplicas. El porcentaje de semilla pura se calcula con la ecuación 1:

$$D_1 = \frac{m_1}{M} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

D_1 = Porcentaje de pureza (%)

m_1 = Peso de las semillas puras al remover y clasificar la materia inerte (g)

M = Peso inicial de la semilla con impurezas (g)

Peso: El objetivo de este análisis es determinar el peso de un determinado número de semillas. Para determinar el peso se utilizaron cuatro muestras. El peso de las semillas se calcula con la ecuación 2:

$$\text{Varianza} = \frac{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}{N(N-1)} \quad (2)$$

Donde:

x = Peso de cada repetición (g)

N = Número de replicas

$$\text{Desviación estándar (s)} = \sqrt{\text{Varianza}} \quad (3)$$

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

\bar{x} = Peso promedio de 100 semillas (g)

Contenido de humedad: Para determinar el contenido de humedad se realizó con dos muestras dependiendo del diámetro del recipiente utilizado. Se pesa la muestra antes de ser secada y luego se introduce en una estufa a 103 ± 2 °C durante 17 ± 1 horas. Pasado este tiempo se procede a pesar (Ecuación 5):

$$CH = (M_2 - M_3) \times \frac{100}{(M_2 - M_1)} \quad (5)$$



Donde:

CH = Contenido de humedad (%)

M_1 = Peso del recipiente y su tapa (g)

M_2 = Peso del recipiente, su tapa y las semillas antes de ser secadas en la estufa (g)

M_3 = Peso del recipiente, su tapa y las semillas después de ser secadas en la estufa (g)

Prueba de germinación: Cuando la plántula presentaba diferentes estructuras como raíz primaria, brotes, cotiledones, la cantidad de semillas por réplica varió dependiendo de la especie entre 25 y 100 semillas, con un total para todas las especies de cuatro réplicas (**Cuadro 3**). El monitoreo de la germinación se realizó diariamente hasta por 90 días para las especies del Bosque del San Francisco, 70, 120 y 180 días para las especies del parque nacional El Cajas, dependiendo de la especie. La germinación final se expresó en porcentaje.

Velocidad de germinación: Este parámetro es calculado a partir de los registros diarios de germinación. El coeficiente de velocidad se calcula a partir de la ecuación 6 (Baskin & Baskin, 2014; Kotowski, 1926).

$$VG = \frac{100(A_1 + A_2 + \dots + A_x)}{(A_1T_1 + A_2T_2 + \dots + A_xT_x)} \quad (6)$$

Donde:

VG = Coeficiente de velocidad germinativa

A_1, A_2, A_x = Numero de semillas contadas desde el primer día, segundo día hasta el último día.

T_1, T_2, T_x = Número de días entre la siembra y el primer día de registro de germinación, segundo día de registro de germinación hasta el último día de registro.

Cuadro 3. Total de semillas utilizadas por cada especie y por réplica, con su respectivo tratamiento de desinfección

Especie	Semillas/réplica	Tratamiento de desinfección
<i>Cedrela montana</i>	100/4	Cloro al 5% x 4 minutos y enjuague con agua destilada
<i>Morella pubescens</i>	100/4	Cloro al 5% x 4 minutos y enjuague con agua destilada
<i>Inga acreana</i>	100/4	Enjuague con agua destilada
<i>Tabebuia chrysantha</i>	100/4	Cloro al 5% x 4 minutos y enjuague con agua destilada
<i>Oreocallis grandiflora</i>	25/4	Alcohol al 90% x 2 minutos y enjuague con agua destilada
<i>Ocotea heterochroma</i>	25/4	No aplica
<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	25/4	Alcohol al 90% x 3 minutos y enjuague con agua destilada



2.2 Análisis estadístico

Se aplicó un análisis no paramétrico Kruskal Wallis por cada especie, el factor de comparación fue el individuo y las variables dependientes analizadas fueron pureza, peso, contenido de humedad y total de germinación. El coeficiente de velocidad de germinación fue analizado a través de una prueba ANDEVA ($p < 0,05$) y posteriormente se aplicó un *post hoc* de Tukey HSD ($p < 0,05$) para la comparación entre medias de los individuos. Cabe mencionar que, si el caso requería la variable del coeficiente, esta fue transformada para cumplir la normalidad y homogeneidad de varianza. El paquete estadístico utilizado fue SPSS 16.0 para Windows.

3. Resultados

3.1 Parámetros de calidad de semillas en los bosques montanos del sur del Ecuador

En el bosque de San Francisco, la especie *C. montana* mostró un comportamiento similar en el contenido de humedad entre los cuatro individuos evaluados, que varió en un rango entre 12,96% y 13,69%; el peso de las semillas osciló entre 1,07 g y 1,65 g, con una marcada diferencia estadística ($< 0,001$); en cuanto a la pureza se registró la variación entre individuos desde 49,27% hasta 79,29%, y la germinación mostró una gran variación entre individuos desde el 0% y 29,25%, con una alta diferencia estadística ($p = 0,009$) (**Cuadro 4**).

M. pubescens presentó una variación en el contenido de humedad entre los tres individuos desde 14,54% hasta 16,94%; mientras que el peso tuvo una variación desde 1,19 g hasta 1,70 g con diferencia estadística entre individuos ($p < 0,001$); para la pureza se registró una variación entre 57,55% y 85,12%, y la germinación tuvo una variación del 0,75% al 23,5% (**Cuadro 4**).

Las semillas de la especie *I. acreana*, con sus dos individuos, tuvo un contenido de humedad de 54,99% y 49,59% respectivamente; el peso de las semillas fue de 39,15g y 44,01g, cuya variación fue estadísticamente significativa ($p < 0,001$); la pureza registrada fue de 56,44% y 49,67%, y la germinación mostró un alto porcentaje con 97,25% y 99% (**Cuadro 4**).

En el caso de *T. chrysantha*, entre los seis individuos analizados presentaron un rango del contenido de humedad desde 12,21% hasta 14,10%; el peso varió entre 2,04 g y 3,38 g presentando diferencias estadísticas ($p < 0,001$); la pureza mostró valores en un rango entre 51,30% y 80,27%, y la variación en la germinación fue alta entre individuos, desde 4,5% hasta 46%, lo cual resultó estadísticamente significativo ($p = 0,004$) (**Cuadro 4**).

En el parque nacional El Cajas, las semillas de *O. heterochroma*, de los cinco individuos analizados, registraron un contenido de humedad que varió entre 32,84% y 44,84%; los valores del peso oscilaron entre 95,85 g y 178 g, con diferencias significativas ($p = 0,002$); la pureza tuvo valores que están en rango desde 74,61% hasta 95,59 %, y la germinación varió desde 61% a 97%, el cual resultó estadísticamente diferente ($p = 0,013$) (**Cuadro 4**).

Las semillas de *O. grandiflora* tuvieron un rango del contenido de humedad para los nueve individuos desde 6,38% hasta 17,48%; el peso osciló entre 0,77 g y 1,61 g ($p < 0,001$); la pureza mostró un rango entre 64,08% y 80,37%, y el porcentaje de germinación tuvo una variación entre 43% y 91% (**Cuadro 4**).

Las semillas de la especie de *M. rhopaloides* presentaron un contenido de humedad para los seis individuos en un rango desde 41,09% hasta 60,66%; el peso osciló entre 2,87 g y 3,78 g ($p = 0,041$); mientras que pureza estuvo entre 86,78 % y 96,98 %. La variación en la germinación fue alta y osciló entre 36% y 98 %, lo cual fue estadísticamente significativo ($p = 0,003$) (**Cuadro 4**).



Cuadro 4. Contenido de humedad (%), peso (g), pureza (%) y germinación (%) cada individuo (árbol madre) de siete especies nativas provenientes de los bosques de San Francisco y del parque nacional El Cajas, Ecuador; ± Desviación estándar

Bosque	Especie	Individuo (Código campo)	Contenido de Humedad (%)	P <0,05	Peso (g)	P <0,05	Pureza (%)	P <0,05	Germinación (%)	P <0,05
San Francisco	<i>C. montana</i>	1 (4)	13,25 ± 0,04	0,198	1,52 ± 0,038	<0,001	79,29 ± 2,25	0,104	2,25 ± 101,22	0,009
		2 (6)	13,45 ± 0,03		1,07 ± 0,038		49,27 ± 1,29		2,25 ± 101,22	
		3 (10)	12,96 ± 0,18		1,65 ± 0,018		78,40 ± 1,98		0	
		4 (16)	13,69 ± 0,48		1,33 ± 0,017		66,43 ± 0,53		29,25 ± 25,05	
	<i>M. pubescens</i>	1 (2)	16,94 ± 0,14	0,121	1,70 ± 0,055	<0,001	57,55 ± 22,16	0,368	1,25 ± 173,21	0,605
		2 (3)	14,54 ± 0,06		1,19 ± 0,044		85,12 ± 6,29		23,5 ± 107,38	
		3 (4)	15,45 ± 0,27		1,33 ± 0,051		65,59 ± 8,98		0,75 ± 110,55	
	<i>I. acreana</i>	1 (1)	54,99 ± 0,82	0,121	39,15 ± 1,297	0,001	56,44 ± 1,78	0,121	97,25 ± 3,20	0,549
		2 (2)	49,59 ± 0,17		44,01 ± 0,978		49,67 ± 0,14		99 ± 0,71	
	<i>T. chrysantha</i>	1 (3)	14,10 ± 0,09	0,179	2,58 ± 0,090	<0,001	78,51 ± 2,57	0,180	23,25 ± 27,60	0,004
		2 (4)	13,27 ± 0,50		2,51 ± 0,059		80,27 ± 0,23		46 ± 7,37	
		3 (6)	12,21 ± 0,33		2,40 ± 0,043		70,78 ± 0,03		32,25 ± 21,63	
4 (9)		12,45 ± 0,51		2,16 ± 0,048		53,88 ± 1,52		43 ± 24,17		
5 (12)		13,26 ± 0,05		3,38 ± 0,109		51,30 ± 1,85		26,25 ± 45,27		
6 (16)		12,84 ± 0,76		2,04 ± 0,073		77,60 ± 0,91		4,5 ± 45,81		
<i>O. heterochroma</i>	1 (1)	44,84 ± 10,62	0,233	112,45 ± 5,3	0,002	74,61 ± 3,30	0,011	86 ± 14,89	0,013	
	2 (2)	32,66 ± 6,18		95,85 ± 3,98		87,73 ± 2,83		84 ± 10,65		
	3 (4)	32,84 ± 2,98		124,15 ± 2,73		93,64 ± 3,86		65 ± 11,82		
	4 (6m)	38,79 ± 10,29		127,48 ± 3,49		95,59 ± 3,02		97 ± 1,79		
	5 (3m)	34,90 ± 1,30		178 ± 7,718		87,32 ± 6,74		61 ± 26,38		
Parque nacional El Cajas	<i>O. grandiflora</i>	1 (5)	10,42 ± 0,03	0,044	1 ± 0,045	<0,001	64,08 ± 4,51	0,091	63 ± 59,96	0,181
		2 (4)	12,42 ± 0,32		1,03 ± 0,041		79,45 ± 1,64		69 ± 57,88	
		3 (1)	10,02 ± 0,32		0,97 ± 0,081		69,52 ± 9,33		68 ± 25,64	
		4 (2)	12,28 ± 0,12		0,87 ± 0,120		79,00 ± 5,62		43 ± 46,22	
		5 (5m)	6,38 ± 2,79		0,77 ± 0,073		76,67 ± 5,57		82 ± 16,36	
	<i>M. rhopaloides</i>	6 (7m)	14,43 ± 0,05		1,61 ± 0,106		80,37 ± 5,87		76 ± 8,32	
		7 (8m)	12,63 ± 1,40		1,29 ± 0,099		71,51 ± 4,64		65 ± 9,10	
		8 (1m)	17,48 ± 1,10		1,02 ± 0,030		76,33 ± 3,90		74 ± 51,92	
		9 (2m)	13,71 ± 0,28		1,16 ± 0,017		77,37 ± 1,29		91 ± 17,13	
<i>M. rhopaloides</i>	1 (1)	58,69 ± 0,25	0,056	3,03 ± 0,598	0,041	94,89 ± 3,27	0,121	93 ± 6,36	0,003	
	2 (4)	60,66 ± 1,60		2,87 ± 0,105		96,98 ± 0,33		56 ± 15,15		
	3 (5)	58,20 ± 0,07		3,35 ± 0,309		86,78 ± 4,76		43 ± 44,79		
	4 (1m)	51,99 ± 0,38		3,78 ± 0,299		91,48 ± 6,65		98 ± 2,04		
	5 (5m)	45,04 ± 3,40		3,19 ± 0,129		93,40 ± 6,12		36 ± 51,52		
	6 (7m)	41,09 ± 0,18		3,46 ± 0,089		86,78 ± 2,15		38 ± 15,79		



3.2 Velocidad de germinación

3.2.1 Bosque San Francisco

Los resultados mostraron que *M. pubescens* y *T. chrysantha* tuvieron un coeficiente de velocidad de germinación muy similar entre los individuos y no registraron diferencias estadísticas. Para *M. pubescens*, el coeficiente varió entre 0,37 y 0,70, esta especie fue la que presentó los valores más bajos del coeficiente, lo que significa una germinación tardía, baja sincronía y bajo porcentaje de germinación, y en *T. chrysantha* el coeficiente de velocidad de germinación osciló entre 1,50 y 1,85. En el caso de *C. montana* y *I. acreana*, los individuos tuvieron un comportamiento diferente y estadísticamente presentaron significancia. *C. montana* tuvo una variación entre el valor mínimo de 0 (germinación nula) y 1,85 ($p=0,009$).

I. acreana osciló entre 2,04 y 2,10 ($p<0,001$). Los individuos de esta última especie presentaron el coeficiente de velocidad de germinación más alto, lo que indica un menor tiempo de germinación, alta sincronía y alto porcentaje de germinación (**Cuadro 5**).

3.2.2 Bosques del parque nacional El Cajas

Las especies de *O. heterochroma* y *O. grandiflora* tuvieron el coeficiente de velocidad de germinación muy similar entre los individuos y no se encontró diferencias significativas. El coeficiente de *O. heterochroma* varió entre 0,74 y 0,85, esta especie tuvo los valores de coeficientes de germinación más bajos, lo que indica una germinación tardía y poco sincronizada, aunque con altos porcentajes de germinación; mientras que en *O. grandiflora*, la variación osciló entre 1,49 y 2,04 y los individuos de esta especie resultaron con el coeficiente de velocidad de germinación más alto en comparación con las otras especies, al demostrar una germinación más temprana, mayor sincronía y altos porcentajes de germinación. La especie *M. rhopaloides* presentó una diferencia entre individuos ($p<0,001$) para el coeficiente de velocidad de germinación, cuyos valores variaron entre 1,11 y 1,26 (**Cuadro 5**).

4. Discusión

4.1 Importancia de la calidad de semillas en la producción de plántulas en viveros

En general, la tendencia de los resultados mostró variación intraespecífica en los parámetros de calidad de semillas para las especies estudiadas. El parámetro contenido de humedad de semillas presentó diferencias significativas únicamente para los individuos de *O. grandiflora*, mientras que, para germinación, las diferencias se encontraron en *C. montana*, *T. chrysantha*, *O. heterochroma* y *M. rhopaloides*, estas últimas consideradas especies de sucesión avanzada. Esta variación también ha sido encontrada en un estudio realizado en una especie forestal (*Juniperus procera*), donde siete características de semillas fueron evaluadas entre diferentes poblaciones (Mamo, Mihretu, Fekadu, Tigabu & Teketay, 2006a). Las variaciones detectadas sugieren al menos dos implicaciones: 1) en la conservación genética que podría contribuir en programas futuros de mejoramiento genético forestal, y 2) en la producción de plántulas, cuya heterogeneidad podría tener limitaciones en el manejo efectivo a nivel de vivero de las plántulas.



Cuadro 5. Coeficiente de velocidad de germinación (CVG) por individuo para las especies nativas *Cedrela montana*, *Morella pubescens*, *Inga acreana*, *Tabebuia chrysantha*, *O. heterochroma*, *O. grandiflora* y *Myrcianthes rhopaloides*, \pm Desviación estándar, n=4

Bosque	Especie		CVG		P <0,05	
San Francisco	<i>C. montana</i>	1	1,35 \pm 0,90	ab	0,009	
		2	1,40 \pm 0,93	b		
		3	0,00 \pm 0,00	a		
		4	1,85 \pm 0,02	b		
	<i>M. pubescens</i>	1	0,37 \pm 0,73	a	0,805	
		2	0,70 \pm 0,81	a		
		3	0,62 \pm 0,71	a		
	<i>I. acreana</i>	1	2,10 \pm 0,00	a	0,001	
		2	2,04 \pm 0,01	b		
	<i>T. chrysantha</i>	1	1,85 \pm 0,02	a	0,375	
		2	1,82 \pm 0,01	a		
		3	1,79 \pm 0,03	a		
		4	1,82 \pm 0,02	a		
		5	1,78 \pm 0,01	a		
		6	1,50 \pm 0,60	a		
	Parque nacional El Cajas	<i>O. heterochroma</i>	1	0,84 \pm 0,00	a	0,213
			2	0,74 \pm 0,15	a	
			3	0,85 \pm 0,01	a	
4			0,82 \pm 0,01	a		
5			0,84 \pm 0,02	a		
<i>O. grandiflora</i>		1	1,49 \pm 1,00	a	0,604	
		2	1,52 \pm 1,02	a		
		3	1,95 \pm 0,02	a		
		4	1,93 \pm 0,12	a		
		5	2,04 \pm 0,02	a		
		6	2,07 \pm 0,01	a		
		7	1,97 \pm 0,07	a		
<i>M. rhopaloides</i>		1	1,11 \pm 0,01	a	0,001	
		2	1,26 \pm 0,01	c		
		3	1,15 \pm 0,04	a		
		4	1,20 \pm 0,01	b		
		5	1,14 \pm 0,01	a		
		6	1,23 \pm 0,01	bc		

Nota: Diferentes letras significan diferencias estadísticas



Por otro lado, si bien los árboles madre en nuestro estudio tuvieron características fenotípicas similares, hay factores que pudieron influir en los resultados como posibles explicaciones de la variabilidad, que no fueron medidos en este estudio pero en la bibliografía se refieren a la influencia genética de los árboles madre (Gutterman, 2000; Ivana Tomášková, Vítámvás & Korecký, 2014a), a la edad de los árboles (Masilamani, Bhaskaran, Chinnusamy & Annadurai, 2000; Tomášková, Vítámvás & Korecký, 2014b) o a la posición de los árboles dentro del bosque, pues se conoce que los árboles dominantes pueden tener sobre los demás una mejor absorción y eficiencia de luz (Campoe et al., 2013).

El parámetro peso de semillas evaluado resultó significativo para todas las especies, esta variabilidad intraespecífica también ha sido reportada por Mamo et al., 2006a y Shu, Yang & Yang, 2012 en individuos de diferentes procedencias. Se conoce que la variación en el peso de la semilla entre individuos de diferentes procedencias puede deberse a varios factores ambientales, como nivel de precipitación (Mamo, Mihretu, Fekadu, Tigabu & Teketay, 2006b), temperatura promedio del sitio (Shu et al., 2012). Otros factores de importancia podrían ser la defoliación y época de floración (temprana, normal o tardía), que según lo reportado por Vaughton & Ramsey (1998), tuvo influencia en la masa de semillas de los árboles estudiados. Sin duda, el peso de semilla tiene implicaciones en la producción de plántulas, pues se conoce que tiene efectos significativos en la germinación y el crecimiento inicial de plántulas, tal como lo demostró Niembro (1997), estudiando la especie *Swietenia macrophylla* King en México.

Aunque en este estudio no se analizó la relación entre los parámetros de calidad de semillas, se reporta que los individuos que presentaron mayor pureza también mostraron mayor porcentaje de germinación, esto para las especies *M. pubescens*, *T. chrysantha* y *O. heterochroma*. Este comportamiento podría atribuirse al estado de las semillas colectadas, pues se observó que las semillas con menor pureza presentaron daños ocasionados por larvas de insectos, lo que implicaría una reducción en la calidad del embrión y, posteriormente, en los porcentajes de germinación. Asimismo, en este estudio se ha podido clasificar a las semillas en recalcitrantes y ortodoxas, al reportar los contenidos de humedad para las siete especies nativas, cuyos resultados de bajos porcentajes de contenido de humedad sugieren que *C. montana*, *T. chrysantha*, *M. pubescens* y *O. grandiflora* son menos sensibles a la desecación y almacenamiento, mientras que *I. acreana*, *O. heterochroma*, y *M. rhopaloides*, por sus altos contenidos de humedad, tienden a ser sensibles a la desecación y almacenamiento. Esta información es útil para los grupos productores de plántulas con fines de restauración, para que puedan almacenar sus semillas y planificar la producción de plántulas sin comprometer la viabilidad de las semillas.

4.2 Importancia de la velocidad de germinación de semillas en la producción de plántulas en vivero

Los resultados indicaron que especies como *I. acreana* y *O. grandiflora* tienen un alto coeficiente de velocidad de germinación en todos los individuos estudiados, en comparación con *M. pubescens* y *O. heterochroma*, esta última especie inició su germinación entre los días 27 y 60 luego de ser sembrada, aunque su porcentaje de germinación fue superior al 61%. La velocidad de germinación puede estar relacionada con la dormancia de semillas, que podría darse en diferentes lotes dentro de una misma especie (Baskin & Baskin, 2014), tal como se observó en este estudio para el caso de *M. rhopaloides*, donde las semillas del individuo cuatro tardaron el doble de días en germinar que las del individuo cinco. Este resultado puede



deberse al pobre desarrollo del embrión, tal como se ha encontrado en semillas de árboles neotropicales (Camargo & Ferraz, 2004). Las especies con bajos porcentajes de germinación y con una tasa alta de semillas vanas en un lote pueden ser explicadas por fenómenos asociados a la polinización efectiva en la población. Si los árboles madre presentan asincronía floral con el resto de individuos de su población, van a tener una menor participación en el clímax de la nube de polen y muchas de sus flores u óvulos no lograrán una buena fertilización.

En caso de detectarse semillas dormantes, una de las formas de acelerar los procesos germinación y promover la producción de plántulas es utilizar tratamientos pregerminativos (Schmidt, 2000; Stimm et al., 2008). En este contexto, un estudio realizado por Cervantes, Carabias & Vázquez-Yanes (1996) determinó que varias especies del bosque tropical deciduo de México tuvieron éxito en romper la dormancia a través de la escarificación, y se notó que la germinación fue más rápida. Du & Huang (2008) también mostró que plántulas que emergen más temprano y con un mayor tamaño de semilla tuvieron un mayor crecimiento vertical.

En términos del manejo de semillas para la producción de plántulas en los viveros, es importante implementar prácticas de uso de tratamientos germinativos para incrementar tanto la velocidad como los porcentajes de germinación de especies nativas de la región Andina tropical. Además, si se opta por la siembra directa de semillas, es importante contar con información previa sobre la velocidad de germinación de las especies para tener un mejor criterio en su selección y conseguir un mejor resultado en el establecimiento de plántulas.

Conclusiones

Para los fines de restauración, la variabilidad intraespecífica de los parámetros ISTA encontrada entre árboles madre resulta importante en la producción masiva de plántulas; por ejemplo, grandes diferencias en los porcentajes de germinación entre individuos de una especie y la poca sincronía de la germinación podrían repercutir en el manejo de las plántulas a nivel de viveros. Nuevos estudios para entender los factores que influyen en la variabilidad de las fuentes semilleras son necesarios. Adicionalmente, otros estudios específicos son importantes como la definición de calendarios fenológicos, tipos de semillas (ortodoxas o recalcitrantes) y sus métodos de almacenamiento, tipos de dormancia y tratamientos pregerminativos; todos estos permitirían, en la región, mejorar la calidad y eficiencia de los procesos de reproducción de plántulas en los programas de restauración.

Agradecimientos

Se agradece a la DFG, FOR 816 y PAK 823-825 y a la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC) por el financiamiento del estudio. Así como también al Ministerio del Ambiente por los permisos de investigación y a la Empresa Pública Municipal y de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ETAPA –EP) y, a Naturaleza y Cultura Internacional (NCI) por el apoyo logístico. También se agradece al Dr. Nikolay Aguirre como contraparte del proyecto FOR 816 y permitir el uso del Laboratorio de semillas de la Universidad Nacional de Loja, a Santiago Guanuche, Carlos Ortega, Maricela Alvarado y Cristian Encalada por la ayuda brindada en la toma de datos. Finalmente, se agradece a la Revista y las personas revisoras anónimas por sus atinados comentarios.



Referencias

- Baral, H., Guariguata, M. R., & Keenan, R. J. (2016). A proposed framework for assessing ecosystem goods and services from planted forests. *Ecosystem Services*, 22(Part B), 260-268. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.10.002>
- Bare, M. C. & Ashton, M. S. (2016). Growth of native tree species planted in montane reforestation projects in the Colombian and Ecuadorian Andes differs among site and species. *New Forests*, 47(3), 333-355. doi: <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9519-z>
- Baskin, C. C. & Baskin, J. M. (2014). *Variation in Seed Dormancy and Germination within and between Individuals and Populations of a Species. Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416677-6.00008-1>
- Bendix, J., Homeier, J., Cueva Ortiz, E., Emck, P., Breckle, S. W., Richter, M., & Beck, E. (2006). Seasonality of weather and tree phenology in a tropical evergreen mountain rain forest. *International Journal of Biometeorology*, 50(6), 370-384. <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0029-8>
- Bendix, J., Rollenbeck, R., Richter, M., Fabian, P., & Emck, P. (2008). The Altitudinal Gradient. Gradual Changes Along the Altitudinal Gradient. *Climate. Ecological Studie*, 198.
- Bischoff, A., Vonlanthen, B., Steinger, T., & Müller-Schärer, H. (2006). Seed provenance matters - Effects on germination of four plant species used for ecological restoration. *Basic and Applied Ecology*, 7(4), 347-359. doi: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2005.07.009>
- Booth, T. H. (2016). Identifying particular areas for potential seed collections for restoration plantings under climate change. *Ecological Management and Restoration*, 17(3), 1-7. doi: <https://doi.org/10.1111/emr.12219>
- Borrero, A. L. (1989). *El paisaje rural en el Azuay*. (B. C. del E. C. de I. y Cultura, Ed.) (Biblioteca). Cuenca - Ecuador.
- Breed, M. F., Stead, M. G., Ottewell, K. M., Gardner, M. G., & Lowe, A. J. (2013). Which provenance and where? Seed sourcing strategies for revegetation in a changing environment. *Conservation Genetics*, 14(1), 1-10. doi: <https://doi.org/10.1007/s10592-012-0425-z>
- Breuer, L., Windhorst, D., Fries, A., & Wilke, W. (2013). Supporting, regulation, and provisioning hydrological services. *Ecological Studies* 221, Springer, (In: Bendix J, Beck E, Bräuning A, Makeschin F, Mosandl R, Scheu S, Wilcke W (eds) Ecosystem services, biodiversity and environmental change in a tropical mountain ecosystem of South Ecuador.), 107-116. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-38137-9_9
- Camargo, J. L., & Ferraz, I. D. (2004). Acariquara-roxae *Minuartia guianensis* Aubl. Olacaceae. *Manual de Sementes Da Amazonia, Fascículo*.



- Campoe, O. C., Stape, J. L., Nouvellon, Y., Laclau, J. P., Bauerle, W. L., Binkley, D., & Le Maire, G. (2013). Stem production, light absorption and light use efficiency between dominant and non-dominant trees of *Eucalyptus grandis* across a productivity gradient in Brazil. *Forest Ecology and Management*, 288, 14–20. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.07.035>
- Cervantes, V., Carabias, J., & Vázquez-Yanes, C. (1996). Seed germination of woody legumes from deciduous tropical forest of southern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 82(1–3), 171–184. doi: [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(95\)03671-7](https://doi.org/10.1016/0378-1127(95)03671-7)
- Cole, R. J., Holl, K. D., Keene, C. L., & Zahawi, R. A. (2011). Direct seeding of late-successional trees to restore tropical montane forest. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1590–1597. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.06.038>
- Dedefo, K., Derero, A., Tesfaye, Y., & Muriuki, J. (2016). Tree nursery and seed procurement characteristics influence on seedling quality in Oromia, Ethiopia. *Forests, Trees and Livelihoods*, 8028(September), 1–15. doi: <https://doi.org/10.1080/14728028.2016.1221365>
- Doust, S. J., Erskine, P. D., & Lamb, D. (2008). Restoring rainforest species by direct seeding: Tree seedling establishment and growth performance on degraded land in the wet tropics of Australia. *Forest Ecology and Management*, 256(5), 1178–1188. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.06.019>
- Du, Y., & Huang, Z. (2008). Effects of seed mass and emergence time on seedling performance in *Castanopsis chinensis*. *Forest Ecology and Management*, 255(7), 2495–2501. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.01.013>
- Du, Y., Mi, X., Liu, X., Chen, L., & Ma, K. (2009). Seed dispersal phenology and dispersal syndromes in a subtropical broad-leaved forest of China. *Forest Ecology and Management*, 258(7), 1147–1152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.06.004>
- Dürr, C., Dickie, J. B., Yang, X. Y., & Pritchard, H. W. (2015). Ranges of critical temperature and water potential values for the germination of species worldwide: Contribution to a seed trait database. *Agricultural and Forest Meteorology*, 200, 222–232. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.09.024>
- ETAPA EP. (2015). Estación meteorológica de la laguna de Llaviuco, Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento.
- Grijalva, J., & Checa, X. (2012). Situación de los recursos genéticos forestales en Ecuador. *Programa Nacional De Foresteria Estacion Experimental Santa Agropecuarias, Instituto Nacional Autonomo De Investigaciones, Informe Pa*, 95. Retrieved from http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/stories/descargas/informe_pas_rgf_ecuador_final.pdf
- Günter, S., Gonzalez, P., Álvarez, G., Aguirre, N., Palomeque, X., Haubrich, F., & Weber, M. (2009). Determinants for successful reforestation of abandoned pastures in the Andes: Soil conditions and vegetation cover. *Forest Ecology and Management*, 258(2), 81–91. article. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.03.042>



- Gutterman, Y. (2000). Maternal Effects on Seeds During Development. *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities, 2nd Edition* (Ed. M. Fenner), 59–84. doi: <https://doi.org/10.1079/9780851994321.0059>
- Holl, K. D., & Aide, T. M. (2011). When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1558–1563. article. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.004>
- Homeier, J. (2004). *Baumdiversität, Waldstruktur und Wachstumsdynamik zweier tropischer Bergregenwälder in Ecuador und Costa Rica*. book, Stuttgart, Germany: Schweizerbart Science Publishers. Retrieved from [http://www.schweizerbart.de//publications/detail/isbn/9783443643041/Dissertationes Botanicae 391 Jurgen Home](http://www.schweizerbart.de//publications/detail/isbn/9783443643041/Dissertationes_Botanicae_391_Jurgen_Home)
- Jacquemyn, H., Brys, R., & Hermy, M. (2001). Within and Between Plant Variation in Seed Number, Seed Mass and Germinability of *Primula elatior*: Effect of Population Size. *Plant Biology*, 3(5), 561–568. doi: <https://doi.org/10.1055/s-2001-17728>
- Kotowski, F. (1926). Temperature relations to germination of vegetable seed. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 23:176-184.
- Kübler D, Hildebrandt P, Günter S, Stimm B, Weber M, Mosandl R, Muñoz J, Cabrera O, Aguirre N, Z. J. & S. B. (2016). Assessing the importance of topographic variables for the spatial distribution of tree species in a tropical mountain forest — erdkunde. *Erdkunde*, 70(1), 19–47. doi: <https://doi.org/10.3112/erdkunde.2016.01.03>
- Lamb, D. (2012). Forest Restoration-- The Third Big Civilizational Challenge. *Journal of Tropical Forest Science*, 24(3).
- Lamb, D., Erskine, P. D., & Parrotta, J. (2005). Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science*, 310(5754), 1628–1632. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1111773>
- Lojan, L. (1992). El verdor de Los Andes: Proyecto Desarrollo Forestal Participativo en Los Andes. *Desarrollo Forestal Participativo*, (Quito-Ecuador).
- Ministerio de Ambiente . (2014). Plan Nacional de Restauración Forestal, 1–33.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2002). Mapa de Suelos de Ecuador Continental (Variable taxonomica). *Ministerio de Agricultura Ganaderia Acuacultura Y Pesca*.
- Mamo, N., Mihretu, M., Fekadu, M., Tigabu, M., & Teketay, D. (2006a). Variation in seed and germination characteristics among *Juniperus procera* populations in Ethiopia, 225, 320–327. doi: <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.01.026>
- Mamo, N., Mihretu, M., Fekadu, M., Tigabu, M., & Teketay, D. (2006b). Variation in seed and germination characteristics among *Juniperus procera* populations in Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, 225(1–3), 320–327. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.01.026>



- Masilamani, P., Bhaskaran, M., Chinnusamy, C., & Annadurai, K. (2000). INFLUENCE OF AGE OF MOTHER TREE ON GERMINATION AND INITIAL VIGOUR OF NEEM (AZADIRACHTA INDICA). *Journal of Tropical Forest Science*, 12(1), 188–190. article. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/23616415>
- Milberg, P., Andersson, L., & Thompson, K. (2000). Large-seeded species are less dependent on light for germination than small-seeded ones. *Seed Science Research*, 10(1), 99–104. doi: <https://doi.org/10.1017/S0960258500000118>
- Minga, D. (2000). Árboles y Arbusto del Bosque de Mazán. *Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable Y Alcantarillado*, 2(Cuenca-Ecuador), 8–9.
- Morocho, M. V. M. (2012). Ecología, Utilización e Impactos producidos por el aprovechamiento del Cucharillo. *Oreocallis grandiflora* (Lam) R. Br. en las Parroquias de Taquil, Chantaco, Chuquiribamba y Gualiel de la Provincia de Loja. *Universidad Nacional de Loja*, 50. doi: <https://doi.org/10.1017/S0010417500000463>
- Navarrete, E. T. (2007). *Guía de Reforestación* (1st ed.). Bogotá, Colombia.
- Niembro, A. (1997). Efecto del peso de las semillas de caoba “*Swietenia macrophylla* King” sobre su germinación y el crecimiento inicial de las plantas bajo condiciones de vivero. *Memorias Congreso Regional de Ciencia Y Tecnología de La Península de Yucatán*, 116–119.
- O’Brien, E. K., & Krauss, S. L. (2010). Testing the home-site advantage in forest trees on disturbed and undisturbed sites. *Restoration Ecology*, 18(3), 359–372. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2008.00453.x>
- Palomeque, X. (2012). Natural succession and tree plantation as alternatives for restoring abandoned lands in the Andes of Southern Ecuador: Aspects of facilitation and competition, 1–162. Retrieved from <http://d-nb.info/1031515194/34>
- Ren, Y., Lü, Y., & Fu, B. (2016). Quantifying the impacts of grassland restoration on biodiversity and ecosystem services in China: A meta-analysis. *Ecological Engineering*, 95, 542–550. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.082>
- Restrepo, M., & Murillo, J. (2007). Manejo de las Semillas y la Propagacion de Diez Especies Forestales del Bosque Andino. *Boletín Técnico Biodiversidad No.1*, 72. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Román, F., De Liones, R., Sautu, A., Deago, J., & Hall, J. (2012). *Guía para la propagación de 120 especies de árboles nativos de Panamá y el Neotrópico*. Panamá.
- Rozo, M. (2015). Metabolitos secundarios aislados de *Ocotea heterochroma* (Lauracea), 150. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/49529/1/marthacatalinarozolugo.2015.pdf>
- Schmidt, H. L. (2000). Guide to handling of tropical and subtropical forest seed. *Danida Forest Seed Centre*.



- Shin, C. J., & Kim, J. G. (2013). Ecotypic differentiation in seed and seedling morphology and physiology among *Cicuta virosa* populations. *Aquatic Botany*, 111, 74–80. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2013.06.005>
- Shu, X., Yang, X., & Yang, Z. (2012). Variation in seed and seedling traits among fifteen chinese provenances of *magnolia officinalis*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 40(2), 274–283. <http://doi.org/10.15835/NBHA4027946>
- Sierra, R. (1999). Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. *Proyecto INEFAN/GEF-BIRF ECOCIENCIA*, (Quito-Ecuador).
- Souza, L. F., Gasparetto, B. F., Lopes, R. R., & Barros, I. B. I. (2016). Temperature requirements for seed germination of *Pereskia aculeata* and *Pereskia grandifolia*. *Journal of Thermal Biology*, 57, 6–10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.01.009>
- Stimm, B., Beck, E., Günter, S., Aguirre, N., Cueva, E., Mosandl, R., & Weber, M. (2008). Reforestation of Abandoned Pastures: Seed Ecology of Native Species and Production of Indigenous Plant Material. In E. Beck, J. Bendix, I. Kottke, F. Makeschin, & R. Mosandl (Eds.), *Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador* (pp. 417–429). inbook, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-540-73526-7_40
- The International Seed Testing Association (ISTA). (2007). *International Rules for Seed Testing. Edition 2007*. Bassersdorf, CH Swiezerland.
- Thomas, E., Jalonen, R., Loo, J., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S., ... Bozzano, M. (2014). Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management*, 333, 66–75. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.015>
- Tomášková, I., Vítámvás, J., & Korecký, J. (2014a). Testing of germination of spruce, pine and larch seed after 10 years from collection - Short communication. *Journal of Forest Science*, 60(12), 540–543.
- Tomášková, I., Vítámvás, J., & Korecký, J. (2014b). Testing of germination of spruce , pine and larch seed after 10 years from collection – Short Communication, 2014(12), 540–543.
- Van den Eynden, V., Cueva, E., Cabrera, O., & Eynden, V. Van den. (2003). Wildwoods from Southern Ecuador. *Economic Botany*, 57(4), 576–603. doi: [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2003\)057\[0576:WFFSE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2003)057[0576:WFFSE]2.0.CO;2)
- Vargas, W. G. (2002). *Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y los Andes centrales*. book, Editorial Universidad de Caldas. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=Omzm3LW0mZUC>
- Vaughton, G., & Ramsey, M. (n.d.). Sources and consequences of seed mass variation in *Banksia marginata* “ Proteaceae #, 452–462.



- Wang, P., Mo, B., Long, Z., Fan, S., Wang, H., & Wang, L. (2016). Factors affecting seed germination and emergence of *Sophora davidii*. *Industrial Crops and Products*, 87, 261–265. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.053>
- Weber, M., Stimm, B., Lopéz, M. F., Gerique, Á., Pohle, P., Hildebrandt, P., ... Kubler, D. (2013). Conservation, Management of Natural Forests and Reforestation of Pastures to Retain and Restore Current Provisioning Services. *Ecological Studies 221, Springer*(In: Bendix J, Beck E, Bräuning A, Makeschin F, Mosandl R, Scheu S, Wilcke W (eds) Ecosystem services, biodiversity and environmental change in a tropical mountain ecosystem of South Ecuador.), 171–185. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-38137-9_13
- Wierzbicka, M., & Obidzinska, J. (1998). The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species. *Plant Science*, (137: 155–171). doi: [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(98\)00138-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(98)00138-1)
- Yang, Q. H., Wei, X., Zeng, X. L., Ye, W. H., Yin, X. J., Zhang-Ming, W., & Jiang, Y. S. (2008). Seed biology and germination ecophysiology of *Camellia nitidissima*. *Forest Ecology and Management*, 255(1), 113–118. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.08.028>