



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

“EFECTIVIDAD DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA
EN EL ECOSISTEMA BOSQUE NUBLADO EN EL ÁREA DE ALTA
PRIORIDAD DE CONSERVACIÓN MUNDIAL CAYAMBE COCA,
ECUADOR”

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIEROS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Autores:

Ayala Recalde Brenda Sofía
Camacás Tenganán Marco Fernando

Director:

Dr. Jhonn James Rodríguez Echeverry Ph.D

Ibarra-Ecuador

Abril 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**“EFECTIVIDAD DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA
EN EL ECOSISTEMA BOSQUE NUBLADO EN EL ÁREA DE ALTA
PRIORIDAD DE CONSERVACIÓN MUNDIAL CAYAMBE COCA,
ECUADOR”**

Trabajo de titulación revisada por el Comité Asesor, previa a la obtención del

Título de:

INGENIEROS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Dr. James Rodríguez Ph.D

DIRECTOR

FIRMA

Ing. Mónica León MSc.

ASESOR

FIRMA

Biol. Renato Oquendo MSc.

ASESOR

FIRMA

Ing. Tania Oña MSc.

ASESOR

FIRMA

Ibarra – Ecuador

Abril 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	100411424-3	
APELLIDOS Y NOMBRES	Ayala Recalde Brenda Sofía	
DIRECCIÓN:	Ibarra - Imbabura	
EMAIL:	brendasofia1215@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0994228504

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	040149906-6	
APELLIDOS Y NOMBRES	Camacás Tenganán Marco Fernando	
DIRECCIÓN:	Tulcán - Carchi	
EMAIL:	camacasfernando@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0990246232

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“EFECTIVIDAD DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN EL ECOSISTEMA BOSQUE NUBLADO EN EL ÁREA DE ALTA PRIORIDAD DE CONSERVACIÓN MUNDIAL CAYAMBE COCA, ECUADOR”
AUTORES:	Ayala Recalde Brenda Sofía Camacás Tenganán Marco Fernando
FECHA:	26 de abril del 2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSTGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingenieros en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Dr. Jhonn James Rodríguez Echeverry Ph.D

2. CONSTANCIA

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autores terceros, por lo tanto, la obra es original y es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 26 de octubre del 2019

LOS AUTORES:



.....
Brenda Sofía Ayala Recalde



.....
Marco Fernando Camacás Tenganán

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Nosotros, BRENDA SOFÍA AYALA RECALDE, con cédula de identidad Nro. 1004114243 y MARCO FERNANDO CAMACÁS TENGANÁN, con cédula de identidad Nro. 0401499066; manifestamos la voluntad de ceder a la Universidad Técnica de Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículo 4, 5 y 6, en calidad de autores de la obra de trabajo de grado denominada **“EFECTIVIDAD DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN EL ECOSISTEMA BOSQUE NUBLADO EN EL ÁREA DE ALTA PRIORIDAD DE CONSERVACIÓN MUNDIAL CAYAMBE COCA, ECUADOR”**, que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingenieros en Recursos Naturales Renovables en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad Facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.



Brenda Sofía Ayala Recalde

C.I. 1004114243



Marco Fernando Camacás Tenganán

C.I. 0401499066

Ibarra, a los 26 días del mes de abril del 2019

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita AYALA RECALDE BRENDA SOFÍA, con cédula de ciudadanía Nro. 100411424-3 y el señor CAMACÁS TENGANÁN MARCO FERNANDO, con cédula de ciudadanía Nro. 040149906-6, bajo mi supervisión en calidad de director.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'James Rodríguez', is written over a horizontal dotted line. The signature is stylized and includes a large flourish at the end.

Dr. James Rodríguez Ph.D
DIRECTOR

Ibarra, a los 26 días del mes de abril del 2019

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

GUÍA: FICAYA – UTN

FECHA: 26 abril del 2019

Brenda Sofía Ayala Recalde y Marco Fernando Camacás Tenganán, “EFECTIVIDAD DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN EL ECOSISTEMA BOSQUE NUBLADO EN EL ÁREA DE ALTA PRIORIDAD DE CONSERVACIÓN MUNDIAL CAYAMBE COCA, ECUADOR”. Trabajo de titulación. Ingenieros en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ibarra 26 de abril del 2019.

DIRECTOR: Dr. James Rodríguez Echeverry Ph.D

El objetivo general de la presente investigación fue: Determinar la efectividad de tres estrategias de restauración ecológica durante la etapa inicial del proceso de recuperación del ecosistema bosque nublado en el área de alta prioridad de conservación mundial Cayambe Coca. Los objetivos específicos fueron: 1) Identificar sitios prioritarios para el establecimiento de ensayos de restauración ecológica, 2) Implementar las estrategias de restauración ecológica: nucleación monoespecífica, nucleación mixta y nucleación asociada de especies nativas en el ecosistema bosque nublado y 3) Evaluar la efectividad de las estrategias implementadas en cada sitio prioritario mediante la comparación de los procesos de sucesión ecológica considerando la supervivencia y el crecimiento de las especies plantadas durante la etapa inicial del proceso de restauración ecológica.

LOS AUTORES



Brenda Sofía Ayala Recalde



Marco Fernando Camacás Tenganán

DIRECTOR



Dr. James Rodríguez Echeverry Ph.D

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis Dr. James Rodríguez Ph.D. por brindarme la oportunidad de formar parte del grupo de investigación del proyecto “Restauración de paisajes naturales degradados y su contribución en la sustentabilidad ambiental en el área de alta prioridad de conservación mundial Cayambe-Coca, Ecuador” y por su incondicional apoyo tanto económico como académico para la culminación de la presente investigación.

De igual forma, agradezco a la Universidad Técnica del Norte que mediante el Centro Universitario de Investigación Científica y Tecnológica (CUICYT) brindó apoyo en cuanto al transporte. Además, agradezco a la Fundación Terra y a Termas Papallacta por permitirme realizar todo el proceso de investigación dentro de su establecimiento.

Así mismo, agradezco infinitamente a mis asesores Ing. Mónica León MSc., Biol. Renato Oquendo MSc. y Ing. Tania Oña MSc, por sus valiosos aportes y guía que me permitieron mejorar este trabajo.

A mi familia y a mis amigas Angélica D., Fernanda M., Gabriela A., Gabriela E. y Evelyn T. que siempre estuvieron presentes para brindarme su apoyo en todo momento. De igual forma agradezco a todos mis amigos que me acompañaron en los monitoreos.

Finalmente, quiero agradecer desde el fondo de mi corazón a Marco Camacás, quien es una de las personas más importantes, inspiradoras y visionarias que forman parte de mi vida, por siempre estar a mi lado y por enseñarme que los pequeños detalles siempre harán una gran diferencia. Muchas gracias mi amor.

Brenda Sofía Ayala Recalde

AGRADECIMIENTO

Quiero manifestar mi gratitud de la manera más sincera al PhD. James Rodríguez Echeverry por brindarme la oportunidad de formar parte del equipo investigador del proyecto “Restauración de Paisajes naturales degradados y su contribución en la sustentabilidad ambiental en el área de alta prioridad de conservación mundial Cayambe-Coca, Ecuador” y por haberme guiado en la elaboración de este trabajo ya que, gracias a su apoyo incondicional hoy puedo culminar esta meta.

Además, agradecer al CUYCIT de la Universidad Técnica del Norte por el apoyo logístico en cuanto al transporte y a la “Fundación Terra” y a “Termas Papallacta” por permitirnos realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento. En el proceso fueron varias las dificultades, pero gracias a todos los amigos y colegas quienes con su aporte hicieron de la investigación una experiencia amena, muchas gracias.

Me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo. Sin embargo, merecen reconocimiento especial mi Madre y mi Padre que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

Marco Fernando Camacás Tenganán

DEDICATORIA

La presente investigación está dedicada a mi madre Diana Recalde, a mi padre José Ayala y a mis hermanos José Edmundo Ayala y Kevin Ayala, quienes han sido el pilar fundamental para mi desarrollo personal como intelectual.

Brenda Sofía Ayala Recalde

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. A mi padre que, a pesar de la distancia, siento que está conmigo siempre. A mis hermanos por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuestos a escucharme y ayudarme en cualquier momento. Por último, a mi chiquita porque sin el equipo que formamos, no habiéramos logrado esta meta.

Marco Fernando Camacás Tenganán

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Páginas
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema de investigación y Justificación	1
1.2 Pregunta directriz de la investigación	5
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II	6
REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1 Marco teórico	6
2.1.1 Cambio de uso de suelo (CUS)	6
2.1.2 Sucesión ecológica	7
2.1.3 Restauración ecológica	8
2.1.4 Técnica de nucleación de plántulas.....	11
2.1.5 Bosque Nublado	12
2.1.6 Selección de especies	13
2.1.7 Supervivencia.....	15
2.1.8 Crecimiento	15
2.2 Marco legal.....	17
2.2.1 Constitución de la Republica del Ecuador 2008	17
2.2.2 Convenio sobre la Diversidad Biológica	18
2.2.3 Código Orgánico del Ambiente (COA)	18
2.2.4 Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)	19
2.2.5 Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021	19
CAPÍTULO III.....	20
METODOLOGÍA	20
3.1 Descripción del área de estudio.....	20
3.2 Métodos.....	21

3.2.1 Identificación de sitios prioritarios para el establecimiento de ensayos de restauración ecológica.....	21
3.2.2 Implementación de las estrategias de restauración ecológica: nucleación monoespecífica, nucleación mixta y nucleación asociada de especies nativas en el ecosistema bosque nublado	23
3.2.3 Evaluación de la efectividad de las estrategias implementadas en cada sitio prioritario considerando la supervivencia y el crecimiento durante la etapa inicial del proceso de restauración ecológica.....	26
3.3 Materiales y equipos	30
3.3.1 Materiales.....	30
3.3.2 Equipos.....	30
CAPÍTULO IV.....	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1 Identificación de los sitios prioritarios para el establecimiento de los ensayos de restauración	31
4.2 Implementación de las estrategias de restauración ecológica: nucleación monoespecífica, nucleación mixta y nucleación asociada de especies nativas en el ecosistema bosque nublado	36
4.3 Evaluación de la efectividad de las estrategias de nucleación Monoespecífica, Asociada y Mixta implementadas en cada sitio prioritario	53
4.3.1 Supervivencia de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en los cuatro sitios prioritarios	54
4.3.2 Análisis de regresión exponencial para el crecimiento en altura de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en los cuatro sitios prioritarios	56
4.3.3 Incremento Corriente Anual (ICA) en la altura total de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en los cuatro sitios prioritarios.....	60
4.3.4 Individuos sanos y aceptables (ISA) de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en los cuatro sitios prioritarios	61
4.3.5 Análisis de correlación de Spearman entre las variables Incremento Corriente Anual (ICA) de la altura total y el diámetro basal de los individuos sanos y aceptables	62

CAPÍTULO V	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
5.1 Conclusiones	65
5.2 Recomendaciones.....	67
REFERENCIAS	68
ANEXOS	84
Anexo 1. Reunión llevada a cabo con los actores clave para la selección de los sitios prioritarios.	84
Anexo 2. Verificación de la disponibilidad de plantas en el vivero de la Parroquia de Papallacta.....	84
Anexo 3. Trazado de las estrategias de nucleación en el terreno.....	84
Anexo 4. Hoyado y plantación.....	85
Anexo 5. Etiquetado de las plantas	85
Anexo 6. Registro de supervivencia.....	85
Anexo 7. Medición de altura total, longitud de ápice y diámetro basal.....	86
Anexo 8. Ficha de campo.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales.....	30
Tabla 2. Equipos.....	30
Tabla 3. Especies del ecosistema de referencia.....	37
Tabla 4. Distribución y cantidad de plantas para la implementación de la estrategia de nucleación monoespecífica.....	47
Tabla 5. Distribución y cantidad de plantas para la implementación de la estrategia de nucleación asociada.....	49
Tabla 6. Distribución y cantidad de plantas para implementación de la estrategia de nucleación mixta.....	51
Tabla 7. Correlación Spearman entre las variables altura total y diámetro basal de los individuos sanos y aceptables (ISA) de las de las tres estrategias de restauración.	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del bosque nublado de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cayambe Coca situado en la parroquia de Papallacta.	20
Figura 2. Código para el etiquetado de las plantas.	25
Figura 3. Mapa de coberturas de suelo de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cayambe Coca.	31
Figura 4. Mapa de Conectividad de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cayambe Coca.	32
Figura 5. Mapa de los parches de BN de interés social de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cayambe Coca.	33
Figura 6. Mapa de los sitios prioritarios para el establecimiento de ensayos de restauración en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cayambe Coca.	34
Figura 7. Mapa del ecosistema de referencia en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cayambe Coca.	36
Figura 8. Diseño de los núcleos utilizados para la implementación de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta.	38
Figura 9. Ubicación de la estrategia de nucleación monoespecífica en los en los cuatro sitios prioritarios.	48
Figura 10. Ubicación de la estrategia de nucleación asociada en los en los cuatro sitios prioritarios.	50
Figura 11. Ubicación de la estrategia de nucleación mixta en los en los cuatro sitios prioritarios.	52
Figura 12. Ubicación de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en los cuatro sitios prioritarios.	53
Figura 13. Probabilidad de supervivencia de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en el sitio prioritario uno.	54
Figura 14. Probabilidad de supervivencia de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en el sitio prioritario dos.	54
Figura 15. Probabilidad de supervivencia de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en el sitio prioritario tres.	55

Figura 16. Probabilidad de supervivencia de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en el sitio prioritario cuatro.	55
Figura 17. Regresiones exponenciales de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en el sitio prioritario uno.	57
Figura 18. Regresiones exponenciales de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en el sitio prioritario dos.	57
Figura 19. Regresiones exponenciales de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta de restauración en el sitio prioritario tres.	58
Figura 20. Regresiones exponenciales de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en el sitio prioritario cuatro.	59
Figura 21. Incremento Corriente Anual (ICA) en altura total de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en los cuatro sitios prioritarios.	61
Figura 22. Individuos Sanos y Aceptables (ISA) de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en los cuatro sitios prioritarios.	62

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

“EFECTIVIDAD DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA
EN EL ECOSISTEMA BOSQUE NUBLADO EN EL ÁREA DE ALTA
PRIORIDAD DE CONSERVACIÓN MUNDIAL CAYAMBE COCA,
ECUADOR”

Brenda Ayala R.; Marco Camacás T.

RESUMEN

En la presente investigación se formularon tres estrategias de restauración ecológica, basadas en la técnica nucleación de plántulas (nucleación monoespecífica, asociada y mixta). El objetivo fue determinar la efectividad de estas tres estrategias en la recuperación inicial del ecosistema bosque nublado de la parroquia de Papallacta, el cual ha sido degradado por el Cambio de Uso del Suelo (CUS) para ganadería. En este sentido, se identificaron sitios prioritarios para el establecimiento de las estrategias de nucleación empleando un enfoque multicriterio. Se seleccionaron especies nativas considerando: su presencia en el ecosistema de referencia, disponibilidad en el vivero y los criterios de formulación de las estrategias. Además, se monitoreó la supervivencia y crecimiento de las estrategias implementadas de manera mensual durante un año. Los datos de supervivencia se analizaron mediante la función de Kaplan Myer y para el crecimiento se emplearon regresiones exponenciales, cálculo del Incremento Corriente Anual (ICA), Individuos Sanos y Aceptables (ISA) y se realizó un análisis de correlación de Spearman entre las variables ICA y diámetro basal de los ISA. De acuerdo con los resultados obtenidos, se identificaron cuatro sitios prioritarios y se seleccionaron 8 especies nativas: *Polypelis incana* para la estrategia de nucleación monoespecífica, *Alnus acuminata*, *Juglans neotropica* y *Cedrela montana* para la estrategia de nucleación asociada y para la estrategia de nucleación mixta *Morella pubescens*, *Myrcianthes hallii*, *Podocarpus oleifolius*. y *Oreopanax ecuadorensis*. Las estrategias de mayor efectividad en la recuperación inicial del ecosistema bosque nublado en una matriz de pasto con remanentes de bosque cercanos, fueron la estrategia de nucleación monoespecífica y asociada.

Palabras clave: Nucleación de plántulas, bosque nublado, Cambio de Uso del Suelo (CUS), sitios prioritarios, selección de especies.

ABSTRACT

In the present investigation, three strategies of ecological restoration were formulated, which were based on seedling nucleation technique (monospecific, associated and mixed nucleation). The main objective was determining the effectiveness of these three nucleation strategies in the initial recovery of Papallacta cloud forest ecosystem, which has been degraded by land-use change for livestock. In this regard, priority sites were identified for the establishment of nucleation strategies using a multicriteria approach, native species were selected considering their presence in the reference ecosystem, availability in the nursery and considering the strategies formulation criteria. Moreover, survival and growth of the nucleation strategies were monitored monthly during a year. Survival data were analyzed using the Kaplan Myer function and growth data were analyzed through exponential regressions, calculation of the annual current increase (ICA), Healthy and Acceptable Individuals (ISA) and a Spearman correlation between ICA variable and basal diameter variable of the ISA. According to the results, four priority sites were identified and 8 native species were selected: *Polypelis incana* for monospecific nucleation strategy, *Alnus acuminata*, *Juglans neotropica* and *Cedrela montana* for associated nucleation strategy and *Morella pubescens*, *Myrcianthes hallii*, *Podocarpus oleifolius*, *Oreopanax ecuadorensis* for mixed nucleation strategy. The most effective strategies in the initial recovery of cloud forest ecosystem in a pasture matrix with nearby forest remnants were the monospecific and associated nucleation strategy.

Key words: Plants nucleation, cloud forest, land use change, priority sites, selecting plant species

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de investigación y Justificación

La degradación y destrucción de muchos hábitats en el mundo ha acelerado la crisis ambiental, esto debido a la reducción rápida de los múltiples servicios ecosistémicos que éstos proveen (Vargas, 2011). Se estima que, a nivel global se ha perdido el equivalente a 68 000 campos de fútbol de áreas de bosque cada día en los últimos trece años (López-Barrera, 2015). De acuerdo con el informe sobre el estado de los bosques del mundo realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, se registró una pérdida neta de bosques de 7 millones de hectáreas anuales en los bosques tropicales durante el período 2000-2010, siendo el Cambio de Uso del Suelo (CUS) la principal causa de la pérdida acelerada de los ecosistemas (FAO, 2016; Rodríguez-Echeverry, Echeverría, Oyarzún y Morales, 2018).

Investigaciones realizadas para comprender los impactos que genera el CUS se han enfocado en especificar las trayectorias de este fenómeno antrópico en el tiempo, mostrando que la tasa del CUS ha aumentado en los últimos años (Ramos-Reyes, Sánchez-Hernández y Gama-Campillo, 2016; Leija, Reyes-Hernández, Reyes-Pérez, Flores y Sahagún, 2016; Rodríguez-Echeverry, Echeverría, Oyarzún y Morales, 2017). Una de las principales causas del CUS, es la presión antrópica impulsada por la búsqueda de suelo fértil para establecer cultivos en ecosistemas boscosos naturales (Ruiz, Savé y Herrera, 2013; Arriaga, 2009).

Varios autores, señalan que la conversión de bosque nativo a espacios agrícolas se establece como el factor de mayor impacto sobre la mayoría de los ecosistemas terrestres, ya que disminuye la superficie de hábitats naturales, constituyéndose en una amenaza para la biodiversidad (Armenteras, González, Retana y Espelta, 2016; Challenger y Dirzo, 2009; Rodríguez-Echeverry, Echeverría y Nahuelhual, 2015).

Así mismo, la remoción de la cobertura vegetal natural y el aprovechamiento desmedido de los recursos naturales ha intensificado los procesos de desertificación de los suelos (Trucios, Rivera, Delgado, Estrada y Cerano, 2013).

Varias investigaciones se han enfocado en estudiar las implicaciones del CUS en el ciclo hidrológico, señalando que la pérdida de cobertura vegetal está ligada directamente con la disminución de caudales (Trucios et al., 2013; Ramos-Reyes, Sánchez-Hernández y Gama-Campillo, 2016; Daza, Hernández y Triana, 2014). Por otra parte, considerando los aspectos sociales y culturales, mediante el CUS se pierde una fuente de bienes para los habitantes locales, en particular los bosques con valoración material y mágico religiosa los cuales muchas veces constituyen el hábitat de animales silvestres de importancia cultural local (López, Balderas, Chávez, Pérez y Gutiérrez, 2015).

Ecuador no es ajeno a la problemática del CUS, ya que se estimó que la tasa de pérdidas anuales de bosques montanos en el país fue del 1,89% una de las más altas a nivel de Sudamérica entre el 2005 y 2010, donde la principal amenaza fue el CUS para la agricultura y ganadería (Garavito et al., 2012). Incluso, Sarmiento (2001), menciona que en las montañas de Ecuador ha estado sucediendo un importante proceso de sabanización en los últimos 20 años, lo que ha reemplazado el anterior paisaje de bosques naturales por una homogeneidad de potreros, campos de cultivo y plantaciones con especies exóticas.

Entre los ecosistemas montanos afectados en el país se encuentran los bosques nublados, los cuales son considerados por Brown y Kappelle (2001) como uno de los ecosistemas que se están transformando más rápidamente a nivel global. De los bosques nublados del Ecuador, el bosque nublado de la parroquia de Papallacta es uno de los ecosistemas que se ha visto degradado por el CUS para actividades ganaderas principalmente para el establecimiento de pastizales. Debido a esta situación, la superficie de bosque nublado de esta parroquia se ha reducido en un 25%, razón por la cual, el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Papallacta (2015) lo ha catalogado como alta prioridad de conservación.

El bosque nublado de Papallacta se encuentra ubicado dentro del área de amortiguamiento del Parque Nacional Cayambe Coca. El paisaje de este parque ha sido identificado como uno de los 34 hotspot para la conservación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos (Myers, Mittermeier, Mittermeier, Fonseca y Kent, 2000), debido a los altos niveles de endemismo y características físicas únicas. Además, el bosque nublado de Papallacta abastece de agua a 1,3 millones de habitantes de la ciudad de Quito (Bubb, May, Miles y Sayer, 2004).

Si bien es cierto, la restauración ecológica ha surgido como una herramienta para revertir los procesos de degradación de ecosistemas y la pérdida acelerada de la biodiversidad (Vargas, 2011). En Ecuador, esta disciplina es relativamente joven, por lo que investigaciones sobre restauración ecológica en bosque nublado son escasas (Aguirre, 2011), pese a tener un papel importante en la regulación de los ciclos hidrológicos y a su alto contenido de biodiversidad (Toledo, 2009).

De los pocos estudios realizados en el ecosistema de bosque nublado en Ecuador, se encuentra el estudio realizado por Báez, Ambrose y Hofstede (2011), quienes abordan la restauración de este ecosistema desde un enfoque social y el estudio realizado por Álvarez, Carillo, De la Cadena, Ortega y Páez (2009), donde se resalta la necesidad de implementar proyectos de rehabilitación a mediano plazo en el bosque protector Mindo-Nambillo. Es importante mencionar, que la información resultante si bien sirve como línea base, resulta insuficiente a la hora de establecer metodologías específicas para la restauración de este ecosistema (González, Pambi, Uyaguari y Zhiñin, 2017).

En este contexto, se hace evidente la necesidad de evaluar alternativas o acciones específicas que contribuyan en la recuperación y la conservación de la integridad ecológica del ecosistema bosque nublado. Vargas (2007) señala que, aunque no existen recetas para restaurar un ecosistema por la particularidad intrínseca de cada sitio, sí existen recomendaciones generales fundamentadas en bases teóricas y conceptuales de la restauración ecológica.

Por ejemplo, la técnica de restauración ecológica sugerida por Segura et al. (2016) en paisajes fragmentados con una matriz de pasto y remanentes de bosque cercano, es la nucleación de plántulas, la cual consiste en la siembra agrupada de plantas en sitios estratégicos del paisaje (López-Barrera, 2015). Esta técnica promueve la formación de nichos de regeneración y la colonización de nuevas poblaciones mediante la generación y facilitación de nuevas conexiones en paisajes degradados (Tres y Reis, 2007).

Un estudio realizado por Ries, Bechara, Bazzo, Koehntopp, y Lopes (2003), señaló que la nucleación tiende a facilitar los procesos sucesionales naturales, haciéndose más efectiva cuanto más numerosos y diversificados sean esos núcleos. De igual forma, Vargas, Díaz, Reyes y Gómez (2012), indican que el uso de esta técnica tiene efectos positivos en el establecimiento de plantas nativas. Incluso, algunos estudios realizados en México tras haber aplicado la técnica de nucleación evidencian resultados a corto plazo y se ha llegado a tener una supervivencia de las plantas mayor al 80 por ciento (Palacio et al., 2016).

Es así como, en el presente estudio se formularon tres estrategias empleando la técnica de restauración activa nucleación de plántulas utilizando especies clave para la restauración en diferentes asociaciones. Todo esto, con la finalidad de realizar un análisis comparativo que permita determinar la estrategia más efectiva que se ajuste mejor a las condiciones del ecosistema bosque nublado. De este modo, la presente investigación aportará información y experiencias nuevas con respecto a la aplicación de técnicas específicas para restaurar el bosque nublado en Ecuador, incursionando así en el marco de la investigación y generación de conocimiento de los recursos naturales para el desarrollo del país, como se establece en el objetivo 3 del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021.

La investigación forma parte del Proyecto “Restauración de paisajes naturales degradados y su contribución en la sustentabilidad ambiental en el área de alta prioridad de conservación mundial Cayambe-Coca, Ecuador” de autoría y responsabilidad del Ph.D James Rodríguez, el cual se encuentra aprobado para su

ejecución por el Centro Universitario de Ciencia y Tecnología (CUICYT) y el Honorable Consejo Directivo (HCD) de la FICAYA, Universidad Técnica del Norte. Además, se cuenta con el apoyo de “Termas Papallacta” a través del centro de investigación e interpretación “Fundación Terra” cuya finalidad es realizar estudios de investigación que contribuyan con la conservación del ambiente y al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes.

1.2 Pregunta directriz de la investigación

¿Cuál estrategia de restauración ecológica tiene mayor efectividad en la recuperación del ecosistema bosque nublado de Papallacta, Ecuador?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar la efectividad de tres estrategias de restauración ecológica durante la etapa inicial del proceso de recuperación del ecosistema bosque nublado en el área de alta prioridad de conservación mundial Cayambe Coca.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar sitios prioritarios para el establecimiento de ensayos de restauración ecológica.
- Implementar las estrategias de restauración ecológica: nucleación monoespecífica, nucleación mixta y nucleación asociada de especies nativas en el ecosistema bosque nublado.
- Evaluar la efectividad de las estrategias implementadas en cada sitio prioritario mediante la comparación de los procesos de sucesión ecológica considerando la supervivencia y el crecimiento de las especies plantadas durante la etapa inicial del proceso de restauración ecológica.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco teórico

Este capítulo contiene una recopilación bibliográfica de artículos científicos, libros y tesis de grado, que permitieron sustentar y conceptualizar información esencial relativa al trabajo de investigación.

2.1.1 Cambio de uso de suelo (CUS)

El CUS es un término concerniente a la modificación humana de la superficie terrestre, el cual consiste en el reemplazo del bosque nativo para el establecimiento de áreas que serán utilizadas para desarrollar diferentes actividades (Ellis, 2013). A nivel global el CUS es una de las mayores amenazas a la biodiversidad (Arriaga, 2009), ya que este fenómeno de origen antrópico, el cual implica un alto grado de deforestación (Barrantes, Chaves y Vinueza, 2001), causa la degradación y destrucción de hábitats, produciendo cambios en los procesos ecológicos que impactan directamente sobre el suministro de los servicios ecosistémicos (Vargas, 2011).

El CUS probablemente es el problema más preocupante que enfrenta los ecosistemas forestales, ya que constituye la principal causa de fragmentación de hábitats a gran escala (Echeverría, Bolados, Rodríguez-Echeverry, Aguayo y Premoli, 2014). En este sentido, se puede deducir que el CUS es un “Factor Forzante”, pues induce al declive de la biodiversidad a través de la pérdida, la modificación y fragmentación de hábitats (Echeverría et al., 2014; Rodríguez-Echeverry, Echeverría, Oyarzún y Morales, 2018); por ende, lograr mantener la conectividad del paisaje se convierte en una condición clave para mantener la estabilidad de los procesos ecosistémicos y en consecuencia la persistencia de la biodiversidad (Correa, Mendoza y López, 2014).

- **Fragmentación**

La fragmentación es definida como el proceso de división de un hábitat continuo en pequeños fragmentos (Ospino y Ramos, 2017). Al fragmentar, se disminuye el área total del ecosistema, se reduce el tamaño de las unidades o parches del hábitat original y genera un aislamiento de los fragmentos (Kattan, 2002), causando efectos negativos sobre la persistencia de especies y la capacidad de recuperación del bosque (Otavo y Echeverría, 2017). La pérdida de hábitat, como acción directa de la fragmentación y la consecuente pérdida de especies (Barbosa y Marquet, 2002), constituyen una barrera para la recuperación natural de un ecosistema (Vargas, 2007).

- **Ecosistema degradado**

Es un ecosistema que ha sido modificado debido un disturbio natural o antrópico, cuya severidad o frecuencia sobrepasa el umbral a partir del cual la recuperación natural del ecosistema no es posible en un periodo de tiempo razonable (Aguilar-Garavito y Ramírez, 2015). Una de las características de los ecosistemas degradados es la pérdida del suelo, biodiversidad y la eliminación de la variabilidad genética (Pequeño et al., 2016).

2.1.2 Sucesión ecológica

Se consideran como disturbios a los eventos destructivos de origen natural o antrópico y las fluctuaciones ambientales que estos puedan presentar en espacio y tiempo (Vargas, 2007). El disturbio es determinante en la dinámica ecológica ya que es uno de los factores que desencadenan el proceso de sucesión.

La sucesión ecológica es un proceso de cambio dinámico, gradual y ordenado en un ecosistema, manifestado por el progresivo reemplazo de una comunidad por otra tras la ocurrencia de una perturbación (Fernández et al., 2010). Dentro del proceso

de sucesión ecológica, se distinguen dos tipos: la sucesión primaria y la sucesión secundaria.

La sucesión primaria, es aquella que se desarrolla en una zona carente de comunidad preexistente, es decir, que se inicia en un biotopo virgen, que no ha sido ocupado previamente por otras comunidades y se produce en periodos de tiempo prolongados (Gastó, 2011). La sucesión secundaria, se define como el proceso mediante el cual la vegetación vuelve a crecer en un sitio cuya vegetación ha sido eliminada por factores naturales o antrópicos (Guariguata y Kattan, 2002).

2.1.3 Restauración ecológica

La restauración ecológica se define como la aplicación de técnicas y estrategias tendientes al restablecimiento total o parcial de la estructura o función de los ecosistemas disturbados (Garibello, 2003). En otras palabras, es el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (Society for Ecological Restoration, 1988-2018).

La restauración ecológica es un proceso que puede durar décadas (Howe y Martínez-Garza, 2014). Durante la etapa inicial (1-2 años), las plantas se enfrentan a condiciones ambientales adversas para lograr establecerse (Álvarez-Aquino, Williams-Linera y Newton, 2004). A corto y mediano plazo (4-8 años), las plantas desarrollan una estructura vegetal con la capacidad de reclutar nuevas especies y a largo plazo (más de 12 años), las plantas generan cambios en las condiciones micro ambientales (Muñiz-Castro, Williams-Linera y Benítez-Malvido, 2015).

El objetivo que persigue la restauración ecológica es restaurar los ecosistemas para ser resistentes y autosuficientes en cuanto a su estructura y función (López-Barrera, 2015); esta meta puede ser alcanzada mediante dos vías, la restauración activa y pasiva. La aplicación de estas técnicas dependerá del grado de afectación del ecosistema. La restauración ecológica es un proceso con altos costos, por lo que el

conocimiento previo del hábitat a restaurar permitirá seleccionar el tipo de restauración más efectiva (López-Barrera, et al., 2016).

Actualmente, existen siete redes de restauración ecológica en seis países latinoamericanos; dos en Brasil, y una en México, Cuba, Colombia, Argentina y Chile (Smith-Ramírez, González, Echeverría y Lara, 2015). Las iniciativas más relevantes que han impulsado la restauración ecológica en América Latina han sido: La meta Aichi 15 del Convenio sobre la Diversidad Biológica, el Reto de Bonn y la Iniciativa 20x20, todas con el objetivo de restaurar aproximadamente 20 millones de tierras degradadas para el año 2020.

Sin embargo, solo cuatro países latinoamericanos (Brasil, Colombia, Ecuador y Guatemala) de los 13 países comprometidos a la iniciativa 20 x 20 o el Reto de Bonn, cuentan con planes de restauración que les permitan alcanzar en los próximos años las metas propuesta (Méndez, Martínez, Ceccon y Guariguata, 2017).

- **Restauración pasiva**

Se considera restauración ecológica pasiva cuando el grado de intervención antrópica para asistir en la recuperación de un ecosistema es mínimo (López-Barrea, 2015), ya que la degradación no es tan intensa por lo que no existen barreras significativas que impidan la regeneración natural (Vargas, 2007). Sin embargo, Muños (2017) señala que, a pesar de haber aplicado la restauración pasiva durante 10 años, los porcentajes de germinación fueron bajos, reduciendo el número de individuos que lograron establecerse después de un disturbio.

En este contexto, no hace falta conocer únicamente el grado de perturbación, sino que además es necesario comprender como se desarrollan los aspectos fisiológicos de los ecosistemas antes de seleccionar el tipo de restauración. Así mismo, Gonzalez-Rivas y Castro-Marín (2011); Norden (2014), mencionan que la regeneración natural (restauración pasiva) no es suficiente para mantener el número

adecuado de plantas, por lo que se debe tomar medidas para incrementar la regeneración de las especies.

- **Restauración activa**

La restauración ecológica activa es aplicada cuando los ecosistemas están muy degradados, es muy lenta su regeneración, se desvía o detiene su dinámica natural. En consecuencia, es necesario implementar estrategias que logren su recuperación lo que implica un mayor grado de intervención antrópica (Vargas, 2007).

El estudio realizado por Trujillo (2017) donde se evaluaron varias técnicas de restauración activa y pasiva señala que, si bien la restauración pasiva presentó mayor similitud de especies con el bosque de referencia, la restauración activa aceleró la recuperación de la estructura vegetal en comparación con la restauración pasiva. En este sentido, López-Barrera, et al. (2016), mencionan que ambos tipos de restauración pueden ser combinadas para obtener mejores resultados.

- **Bosque de referencia**

Los bosques de referencia son modelos característicos de un ecosistema particular que sirven como guía para la restauración de ecosistemas degradados y por ende dirigen o establecen las metas de los proyectos de restauración. (McDonald, Gann, Jonson y Dixon, 2016; Aguirre y Torres, 2013). Del mismo modo, Vargas et al. (2012), señala que los bosques de referencia constituyen modelos que permiten, más adelante, evaluar estos proyectos.

Conocer las especies que están presentes en los ecosistemas de referencia, puede ayudar a predecir que especies podrían tener éxito y que problemas se pueden presentar antes de realizar un proyecto de restauración (Fernández et al., 2010). En este sentido, definir el ecosistema de referencia se convierte en un aspecto sumamente importante, ya que sirve de guía dinámica para evaluar y seleccionar las estrategias que aseguren la restauración en ecosistemas degradados. Sin

embargo, definir el bosque de referencia, es uno de los temas que suelen pasar desapercibidos.

Un análisis sobre el estado del monitoreo a procesos de restauración ecológica en Colombia realizado por Murcia, Guariguata y Montes (2015), señala que poco más de la mitad de los proyectos de restauración definieron a priori el ecosistema de referencia y solo 19 de los 119 proyectos, reconocieron que no se identificaron los ecosistemas de referencia. En este contexto, los mismos autores, señalan que la falta de monitoreos y la determinación de ecosistemas de referencia indican que hay fallas en la planificación y diseño de los proyectos de restauración.

2.1.4 Técnica de nucleación de plántulas

Una de las técnicas activas que ha demostrado ser altamente efectiva en facilitar los procesos de sucesión natural, es la nucleación de plantas (Reis, Tres y Scariot, 2007). La nucleación se refiere al fenómeno en el que una especie forma centros de establecimiento o núcleos, dando paso a la generación de microhábitats para el subsecuente crecimiento de otras plantas colonizadoras (López-Barrera, 2015). De ahí que, la nucleación de plantas usa pequeños núcleos de vegetación dentro de tierras degradadas como punto de partida de la regeneración vegetal (Reis, Bechara y Tres, 2010).

En este contexto, la nucleación de plántulas es fundamental para reactivar el flujo ecológico de productores, consumidores y descomponedores mediante la colonización de las especies de ecosistemas remanentes (Yarranton y Morrison, 1974), permitiendo así una reconexión integral del ecosistema. Díaz-Páez y Polaní (2017), señalan que la nucleación tiene el potencial de acelerar el restablecimiento de procesos ecológicos, como los ciclos de nutrientes y el secuestro de carbono.

Reis, Bechara y Tres (2010), mencionan que esta técnica puede ser una herramienta para reconciliar la competencia por el uso de la tierra entre la agricultura y la restauración de bosques a escala de paisaje. Además, puede reducir costos a

diferencia de una reforestación tradicional. Sin embargo, la técnica de nucleación ha sido raramente usada por los investigadores alrededor del mundo, a pese a que esta técnica es muy eficiente para restaurar ecosistemas degradados (Boanares y Schetini, 2014).

2.1.5 Bosque Nublado

Los bosques nublados son ecosistemas con una flora y estructura particulares, se ubican a una altura que oscila entre los 2000 a 3500 m s.n.m. y se caracterizan por una cobertura persistente o estacional de neblina (Brown y Kappelle, 2001). Por su distribución naturalmente fragmentada causada por las variaciones en altitud, ha dado lugar a altos grados de endemismo (Bruijnzeel y Hamilton, 2001). Este ecosistema es un tipo raro de bosque, ya que tan solo compone el 2,5% de la superficie total de los bosques tropicales del mundo y en América, es aún más raro, constituyendo 1,2% de los bosques tropicales de esta región (Bubb, Aldrich, y Sayer, 2002).

Todos los bosques de montaña tienen un papel importante en la calidad del agua y en mantener los patrones de flujo natural de los arroyos y ríos que proceden de ellos. No obstante, los bosques nublados tienen el valor adicional único de capturar el agua de la condensación de nubes y niebla (Brown y Kappelle, 2001). Este fenómeno mantiene el ciclo del agua inclusive en periodos de sequía, debido al alto porcentaje de humedad contenido por la vegetación (Bubb et al., 2004).

Gracias a la alta humedad ambiental de este ecosistema, es abundante la población de especies de briofitas, líquenes y helechos como lo señala el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE, 2012). Las epífitas constituyen hasta un cuarto de las especies de plantas de estos ecosistemas, este tipo de plantas proporcionan una variedad de microhábitats para invertebrados, anfibios y sus depredadores (Bubb et al., 2002). El CUS es más grave sobre el bosque nublado, debido a la lenta capacidad para recuperarse de la perturbación y las bajas tasas de descomposición de materia orgánica y productividad de biomasa que posee.

Inclusive, el bosque nublado genera las condiciones micro climáticas necesarias para su establecimiento y mantenimiento. Por esta razón, estos ecosistemas son considerados sistemas particularmente frágiles (Toledo, 2009). En este contexto, y como afirma Stadtmüller (1987) “es importante apoyar y promover los intentos y acciones para proteger los bosques nublados contra un cambio de uso, no solo por ser ecosistemas muy frágiles, sino también por los servicios ecosistémicos que estos proveen” (p. 64).

2.1.6 Selección de especies

Para la selección de las especies a emplearse en proyectos de restauración, se debe identificar comunidades de vegetación que presenten funciones importantes y específicas que contribuyan con la restauración del ecosistema (Vargas, 2007). Sin embargo, mucho dependerá de los requisitos y circunstancias locales (Ford-Lloyd, Kell y Maxted, 2008).

Como ejemplo, para restaurar un área que presente suelos con altos niveles de degradación, se deben emplear especies que contribuyan con la fijación de nitrógeno, que ayuden con la incrementación de materia orgánica y disponibilidad de microorganismos. En este contexto, la selección de las especies es de gran importancia, ya que de este proceso dependerá el éxito o fracaso de un proyecto de restauración (Vidal y Rojas, 2014).

- **Especies nativas**

Según FAO (2012), una especie nativa es aquella que pertenece y/o habita dentro de un área de distribución natural, es decir, que ha evolucionado en una misma zona, región o biotopo y está adaptada a las condiciones ecológicas predominantes del área. En proyectos de restauración ecológica se debe evitar el uso de especies introducidas, ya que éstas pueden desencadenar problemas ecológicos, como la pérdida de biodiversidad, el incremento de enfermedades, la disminución de alimento y nutrientes para las especies nativas (Venegas-López, 2016).

La selección de especies nativas representa un recurso primordial dentro de los procesos de restauración ecológica ya que, pueden ayudar en la formación posterior de un dosel arbóreo, así como a la creación de micrositios favorables para el establecimiento de especies tolerantes a la sombra, a la producción y acumulación de biomasa aérea y al recambio de nutrientes entre el suelo y la vegetación, lo que permite mantener la estructura y la función de los ecosistemas (Acero-Nitola y Cortez-Pérez, 2014).

- **Fenología**

Trata del estudio de la influencia del medio ambiente físico sobre los seres vivos, a través de las observaciones de los fenómenos o manifestaciones de las fases biológicas resultantes de la interacción entre los requerimientos climáticos de la planta y las condiciones de tiempo y clima reinantes en su hábitat (Yzarran y López, 2011). Es decir, se realizan las observaciones de la planta y de su medio ambiente físico en forma conjunta procurando identificar las variaciones que le sucede a la vegetación en los procesos de producción de flores y fructificación en los diferentes años (Vilchez, Robin, y Redonde, 2014).

- **Rasgos de historia de vida**

Los rasgos de historia de vida permiten un mejor entendimiento de las características ecológicas de las especies de interés y una mayor comprensión de cómo se agrupan, interactúan y funcionan en comunidades (Acero-Nitola y Cortés-Pérez, 2014) dado que, el ambiente selecciona determinados rasgos que promueven el mejor desempeño de los individuos bajo condiciones específicas (Salgado-Negrete, 2015).

Un estudio realizado por Romero (2005) señala que, es necesario realizar la adecuada selección de especies para la restauración a partir del estudio de rasgos de historia de vida, ya que este recurso permite realizar una selección óptima de especies que en condiciones naturales favorezcan el avance de la sucesión natural o

que tengan la capacidad de formar núcleos y sean utilizadas cotidianamente por los pobladores locales.

2.1.7 Supervivencia

La supervivencia se define como el número de individuos vivos de una especie en un momento determinado (Meli y Carrasco-Carballido, 2011). Se ha identificado que, en la mayoría de los proyectos de restauración, el principal indicador del éxito es la supervivencia y el establecimiento de la plantación en períodos cortos de tiempo (Murcia y Guariguata, 2014).

La respuesta inicial en una plantación se ve afectada por diversos factores que pueden influir en el aumento o disminución de la probabilidad de supervivencia (Cortina, Navarro y Del Campo, 2006). Para el periodo de establecimiento de las plantas en campo, los factores más relevantes en el primer año de plantación son la calidad del material vegetativo y el manejo de las plantas previo a la plantación (Margolis y Brand, 1990).

2.1.8 Crecimiento

De acuerdo con Di Benedetto y Tognetti (2016), el crecimiento es definido generalmente como un incremento irreversible en las dimensiones de la planta, el cual ocasionalmente es acompañado por cambios en la forma. En particular, los árboles presentan un crecimiento anual corriente inicial bajo debido a que están formando sus estructuras básicas (ramas, fuste, raíces etc.).

Este crecimiento aumenta progresivamente hasta alcanzar tasas máximas una vez que se ha alcanzado el desarrollo completo de las estructuras básicas. Durante ese tiempo, el árbol se desarrolla a ritmos constantes luego declina y llega a ser prácticamente nula (Corvalán y Hernández, 2009). Lallana y Lallana (1999); Diéguez et al. (2003) y Barrera, Suárez y Melgarejo (2010), señalan que el patrón

de crecimiento de un organismo se describe por medio de la curva sigmoidea, donde se pueden diferenciar tres fases con diferentes velocidades de crecimiento.

- *La primera fase* conocida como fase exponencial (Etapa juvenil), ocurre cuando las plantas comienzan a perder masa seca durante el proceso de germinación. Durante esta fase el crecimiento ocurre con la máxima intensidad. En plantas superiores, esta fase exponencial corresponde al aumento de peso durante las primeras etapas de crecimiento. El crecimiento describe una curva exponencial.
- *La segunda fase* conocida como fase logarítmica (etapa de madurez), se caracteriza por que a períodos iguales de tiempo corresponden aumentos iguales de crecimiento. Esta fase es característica de los aumentos de longitud y volumen. Por ejemplo, el crecimiento de la raíz principal y de los tallos con entrenudos. En muchos casos, la fase lineal prácticamente no existe, pasándose de la fase logarítmica a la de senescencia casi sin interrupciones.
- *La tercera fase* llamada también fase de envejecimiento o fase de senescencia (etapa de senectud), es de lento crecimiento o crecimiento desacelerado y en su transcurso el sistema se vuelve cada vez menos efectivo hasta que cesa totalmente.

Para determinar el crecimiento, Di Benedetto y Tognetti (2016), señalan que pueden medirse algunas variables como por ejemplo la altura total y el diámetro basal.

- *Altura total*: La altura total es la distancia vertical expresada en unidades de medida comprendidas desde la base hasta la yema apical (Ugalde, 2001).
- *Diámetro basal*: Es la medida referente a la sección transversal de la plántula, esta medición se realiza a 5cm del suelo (Ugalde, 2001).

2.2 Marco legal

El presente marco legal contiene normas jurídicas que aportan a la temática de estudio. De acuerdo con el análisis de la normativa legal, la presente investigación está sustentada de la siguiente manera:

2.2.1 Constitución de la Republica del Ecuador 2008

En base al Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de Indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

Adicionalmente, el Art. 276, numeral 4 señala como unos de los objetivos del régimen de desarrollo, se enfocan en la recuperación y conservación de la naturaleza y mantenimiento de un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo y a los beneficios de los recursos de subsuelo y del patrimonio natural.

La Constitución Política de la República del Ecuador a través del Art. 404, establece que Patrimonio Natural exige su protección, conservación, recuperación y promoción. Además, dentro del Art. 406.- menciona que el Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados; entre otros, los páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marinos-costeros.

Por último, según el Art. 409.- En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona.

2.2.2 Convenio sobre la Diversidad Biológica

El convenio sobre la Diversidad biológica se enmarca en tres objetivos principales: conservar la diversidad biológica, la conservación de la diversidad biológica en todos sus niveles, la utilización sostenible de los recursos naturales y la participación.

Por lo tanto, el presente estudio se ajusta al artículo 8, donde se menciona que, a través de la elaboración de planes u estrategias de ordenación, se aplicará acciones de restauración y rehabilitación de ecosistemas degradados y se promoverá la recuperación de especies amenazadas.

2.2.3 Código Orgánico del Ambiente (COA)

De acuerdo con el Código Orgánico del Ambiente en el Libro Segundo de Patrimonio Natural, Capítulo VI de Restauración Ecológica, Plantaciones Forestales y Sistemas Agroforestales, el artículo 118 señala que, en las actividades de restauración ecológica de suelos o ecosistemas se priorizará la regeneración natural cuando esta sea posible técnica, económica y socialmente.

Además, en el artículo 119 se menciona que, es de prioridad nacional impulsar e implementar programas o proyectos de reforestación con fines de conservación o restauración, en todas aquellas áreas que se encuentren en procesos de degradación, donde solo procederán las plantaciones forestales con fines de conservación que se ejecuten con una combinación de especies nativas o con fines de enriquecimiento y aceleración de sucesión secundaria. El artículo 120 señala que, los programas de

plantaciones forestales con fines de conservación podrán realizarse en tierras del Estado o en tierras privadas que aseguren los fines de esta actividad.

Por último, el artículo 122 señala que, en ningún caso las plantaciones forestales con fines de conservación y producción afectarán o remplazarán las áreas cubiertas con bosques naturales, vegetación nativa y arbustiva, ecosistemas frágiles, servidumbres ecológicas o zonas de protección permanente de agua y solo se podrán establecer plantaciones forestales en las tierras asignadas a este fin.

2.2.4 Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)

Dentro del TULSMA libro VI Acuerdo Ministerial 061, Art 2. Hace mención a Restauración integral como principio fundamental ya que, la restauración integral es un derecho de la naturaleza, por medio del cual, cuando ésta se ha visto afectada por un impacto ambiental negativo o un daño, debe ser retornada a las condiciones determinadas por la Autoridad Ambiental Competente, que aseguren el restablecimiento de equilibrios, ciclos y funciones naturales.

Se aplica a escala de ecosistema y comprende acciones tales como reconfiguración de la topografía local, restablecimiento de la conectividad local, revegetación, reforestación y recuperación de las condiciones naturales de los cuerpos de agua, entre otras.

2.2.5 Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021

La presente investigación se enmarca en el objetivo tres del primer eje programático del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, donde se señala que para garantizar los derechos de la naturaleza a las actuales y futuras generaciones, es fundamental promover la protección y el cuidado de las reservas naturales, de los ecosistemas frágiles y amenazados e impulsar a la investigación y generación de conocimiento de los recursos naturales del país.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio comprende el ecosistema bosque nublado de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cayambe Coca, que se ubica en la parroquia de Papallacta perteneciente al cantón Quijos, provincia del Napo-Ecuador (Figura 1).

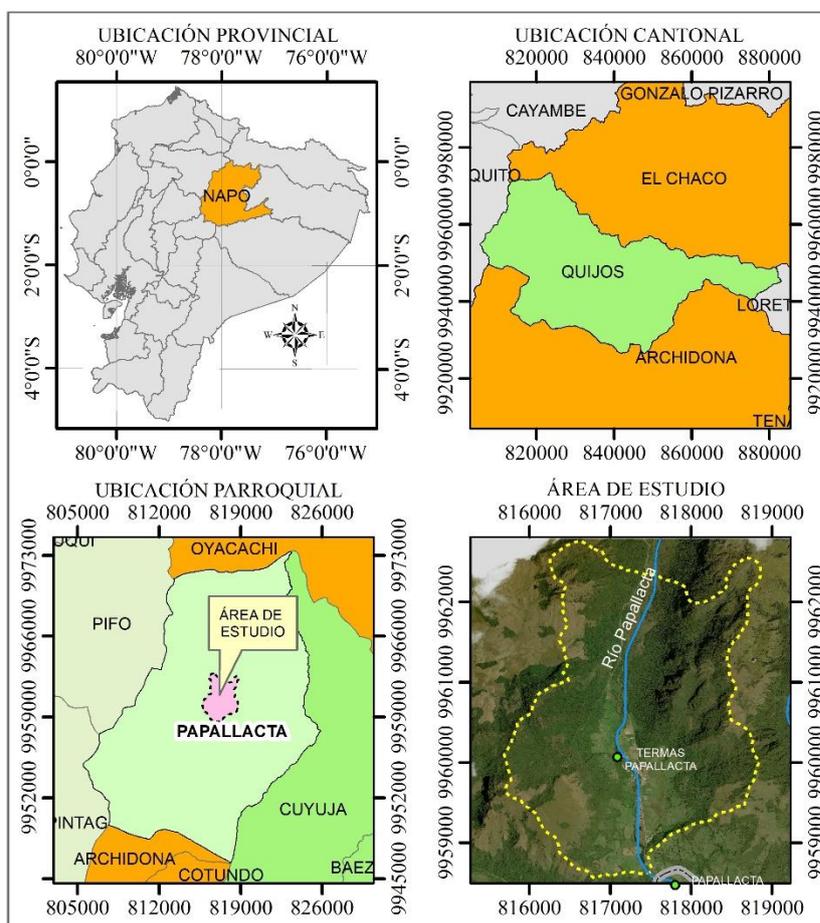


Figura 1. Mapa de ubicación del bosque nublado de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cayambe Coca situado en la parroquia de Papallacta.

El área de estudio se ubica entre los 3300 y los 4120 m s.n.m., presenta una temperatura media anual de 5,9°C, la humedad atmosférica se mantiene todos los meses entre 94 y 95%, la precipitación media anual es de 1446 mm y prácticamente

en casi todo el área predominan zonas montañosas con el 34.1% de pendiente. El 25% del bosque nublado presente en esta parroquia, ha sido amenazado por el establecimiento de pastizales para la ganadería. Por esta razón, de acuerdo al Gobierno Autónomo Descentralizado de Papallacta (2015), el bosque nublado presente en esta parroquia se ubica en la categoría de alta prioridad de conservación.

3.2 Métodos

A continuación, se presentan los métodos utilizados, para determinar la estrategia de restauración ecológica más efectiva en el bosque nublado de la parroquia de Papallacta.

3.2.1 Identificación de sitios prioritarios para el establecimiento de ensayos de restauración ecológica

La selección de un área destinada para realizar procesos de restauración ecológica debe justificarse en una priorización técnica, basada en las necesidades locales y en criterios de estrategias globales de conservación (Garibello, 2003), es decir, en áreas donde se produzcan los mayores beneficios (Aguirre y Torres, 2013).

En este contexto, para seleccionar los sitios prioritarios donde implementar acciones de restauración, se consideró un enfoque multicriterio a fin de garantizar el proceso de restauración ecológica (Pequeño et al., 2016). A continuación, se presentan los criterios considerados

- **Criterio Ecológico**

El criterio ecológico consistió en identificar la fragmentación del bosque nublado en el área de estudio. Para ello, primero se procedió a identificar las coberturas de uso del suelo del área de estudio, para luego realizar un análisis de conectividad entre las coberturas identificadas. En este sentido, para identificar las coberturas de uso del suelo en el área de estudio, se realizó la clasificación supervisada de una

imagen satelital (Sentinel 2) del año 2017 con una nubosidad inferior al 10% para facilitar su procesamiento.

La clasificación supervisada de la imagen se realizó mediante el software “ArcGIS 10.3” y consistió en combinar las bandas espectrales dos, tres, cuatro y ocho para posteriormente identificar los píxeles similares y representativos de las diferentes coberturas, asignándoles a una firma espectral determinada. Es importante mencionar que, para la clasificación supervisada se empleó el método estadístico de máxima verosimilitud y puntos de entrenamiento, los cuales representan los patrones de los tipos de cobertura del suelo.

Una vez identificadas las coberturas de uso del suelo del área de estudio, se procedió a realizar un análisis de conectividad entre las coberturas identificadas mediante el software “Fragstats 4.2”. Para este análisis, se consideró la métrica “distancia euclídea al vecino más cercano” ya que permite cuantificar el aislamiento de parches de la misma clase.

- **Criterio Social**

El criterio social consistió en integrar las opiniones e intereses de los actores clave (Junta Parroquial de Papallacta y la Fundación Terra) para la selección de los sitios prioritarios donde establecer los ensayos de restauración ecológica. En este contexto, se llevaron a cabo reuniones con la finalidad de llegar a un consenso de selección de los sitios socialmente importantes y necesarios para establecer los ensayos de restauración (Anexo 1).

- **Criterio de Accesibilidad**

El criterio de accesibilidad consistió en identificar vías que faciliten el acceso a las zonas intervenidas, ya que el acceso podría convertirse en un limitante para los procesos logísticos tales como: el monitoreo, transporte de plántulas, entre otros.

3.2.2 Implementación de las estrategias de restauración ecológica: nucleación monoespecífica, nucleación mixta y nucleación asociada de especies nativas en el ecosistema bosque nublado

La implementación de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta se llevaron a cabo mediante siete etapas, las cuales se detallan a continuación.

- **Selección de la técnica**

Para seleccionar la técnica de restauración ecológica que mejor se ajuste a las características presentes en los sitios prioritarios, se procedió a identificar los factores limitantes y los factores tensionantes. Los factores limitantes que puede presentar un ecosistema de bosque nublado son las bajas tasas de crecimiento, descomposición y producción de materia prima (Segura et al., 2016). En consecuencia, la sucesión natural de la vegetación es lenta.

Por otra parte, la presencia de praderas ganaderas en este ecosistema fue considerada como el principal factor tensionante, ya que pueden permanecer dominantes por décadas en campos abandonados (Sarmiento, Llambí, Escalona y Marquez, 2003). Varios autores, señalan que los pastizales incrementan la competencia por recursos como luz y agua e impide la llegada de semillas, limitando así, el establecimiento y reclutamiento de nuevos individuos en las áreas invadidas (Segura et al., 2016; Holl, Loik, Lin y Samuels, 2000; Zimmerman, Pascarella y Aide, 2000; Hooper, Condit y Legendre, 2002).

De lo mencionado anteriormente, la técnica de restauración ecológica sugerida por Segura et al. (2016) en paisajes fragmentados con una matriz de pasto y remanentes de bosque cercano, es la nucleación de plántulas, la cual consiste en la siembra agrupada de plantas en sitios estratégicos del paisaje (López-Barrera, 2015), cuyo fin es promueve la formación de nichos de regeneración y la colonización de nuevas poblaciones mediante la generación y facilitación de nuevas conexiones en paisaje degradado (Tres y Reis, 2007).

- **Formulación de las estrategias de restauración**

Considerando los pastizales como el principal factor tensionante en el área de estudio, se formularon tres estrategias de restauración ecológica basadas en la técnica nucleación de plántulas, procurando reactivar la sucesión ecológica y contribuir con la reconexión de los parches de bosque nublado. En este sentido, la estrategia de nucleación monoespecífica consistió en seleccionar una especie perenne y de crecimiento denso que genere condiciones las cuales constituyan una barrera para el establecimiento de especies invasoras.

La estrategia de nucleación de especies asociadas consistió en seleccionar especies de plantas que se encuentren asociadas de forma natural y que contribuyan al mejoramiento del suelo degradado por el establecimiento del pasto. Por último, la estrategia de nucleación mixta tuvo como objeto seleccionar distintas especies con características que puedan contribuir con el proceso de restauración y al mejoramiento de la composición estructural del paisaje y aportar a la biodiversidad del área de estudio.

- **Ecosistema de referencia**

Para la selección del ecosistema de referencia, se realizaron salidas de campo con el personal técnico de la Fundación Terra, con la finalidad de identificar un ecosistema que presente un buen estado de conservación (Vargas et al., 2012) y que se encuentre cerca a los sitios a restaurar (Murcia y Guariguata, 2014).

- **Selección de especies**

Una vez identificadas las especies del bosque de referencia, se verificó la disponibilidad de éstas en el vivero de la parroquia de Papallacta. Luego se realizó una revisión bibliográfica de los rasgos de historia de vida de las especies presentes en el ecosistema de referencia que estuvieron disponibles en el vivero de Papallacta,

para finalmente, seleccionar las especies que se implementaron en las estrategias de nucleación de plántulas (Anexo 2).

- **Preparación del Terreno**

En cuanto a la preparación del terreno, se realizó el trazado del diseño de las estrategias de nucleación en cada uno de los sitios prioritarios. Posteriormente, se cercó cada uno de los sitios prioritarios con postes de madera y alambre de púas a fin de evitar el ingreso del ganado (Anexo 3).

- **Hoyado y plantación**

El hoyado y la plantación se realizaron siguiendo el diseño de las estrategias, las cuales fueron previamente marcadas en el terreno. Para el hoyado al igual que para la plantación de las especies seleccionadas, se contó con la participación del personal de Termas Papallacta y personal de la Fundación Terra. Las dimensiones establecidas para todos los hoyos fueron: 30 cm de largo, 30 cm de ancho y 30 cm de profundidad (Anexo 4).

- **Etiquetado de las plantas**

Para el etiquetado se elaboró un código que permitió distinguir el sitio prioritario, la estrategia de nucleación y la especie durante el proceso de monitoreo (Anexo 5). A continuación, se presenta la etiqueta utilizada (Figura 2).

$$S_n E_n S p_n$$

Figura 2. Código para el etiquetado de las plantas.

Donde: S = sitio prioritario

E = estrategia de nucleación

Sp = especie de planta

n = número de planta, estrategia y sitio

3.2.3 Evaluación de la efectividad de las estrategias implementadas en cada sitio prioritario considerando la supervivencia y el crecimiento durante la etapa inicial del proceso de restauración ecológica

Varios autores sugieren el estudio de la supervivencia y crecimiento de las plantas como una metodología para evaluar la etapa inicial de un proceso de restauración ecológica (Álvarez-Aquino, Williams-Linera y Pedraza, 2008). Por esta razón, en el presente estudio se consideró analizar la supervivencia y el crecimiento de las plantas que conforman las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en los cuatro sitios prioritarios.

3.2.3.1 Supervivencia

Para la supervivencia se realizaron observaciones directas de las plantas, clasificándolas como vivas o muertas (Anexo 6). Los datos obtenidos de supervivencia se ajustaron a través de la función de “Kaplan-Meier”. Esta función construye la curva de supervivencia indicando una tendencia de los datos, lo cual permite saber en qué periodo del monitoreo se presenta la mayor mortalidad (Chamblas, 2015).

$$\hat{S}_{KM} = \prod_{t_i < t} \frac{r(t_i) - d(t_i)}{r(t_i)}$$

Donde: $r(t_i)$: Plantas vivas

$d(t_i)$: Plantas muertas

$t_i < t$: Tiempo de medición

El análisis estadístico, para los datos de supervivencia se realizó con el paquete estadístico “Past”. Los datos recopilados fueron analizados considerando la supervivencia de cada estrategia en cada sitio experimental. Es importante mencionar que, se llevaron a cabo procesos de mantenimiento y monitoreo de manera mensual durante un año.

Para el mantenimiento no se consideró el retiro de coberturas (pasto). En contraste, la medida que se adoptó fue pisar el pasto a un rango de 25 cm de radio de distancia de cada especie plantada. Por otra parte, el proceso de monitoreo consistió en evaluar la supervivencia y el crecimiento.

3.2.3.2 Crecimiento

Para evaluar el crecimiento de las tres estrategias implementadas en los cuatro sitios prioritarios se realizaron tres mediciones:

- *Altura total*: consistió en medir la planta desde la base del tallo hasta la yema apical de la rama más alta a favor de la pendiente empleando un flexómetro (Anexo 7a).
- *Longitud del Ápice*: se seleccionó una rama de cada planta, la cual fue medida desde la yema axial hasta el ápice de la hoja más larga de la rama seleccionada mediante un flexómetro. (Anexo 7b).
- *Diámetro basal*: Se realizaron dos mediciones, una al momento de la plantación y otra al doceavo mes. Esta medición consistió en medir el ancho del tallo de cada planta a 5 cm de distancia con relación al suelo mediante un calibrador (Anexo 7c).

El registro de la información obtenida en campo durante los monitoreos se realizó en una ficha técnica similar a la elaborada por Chamblas (2015), la cual permitió registrar tanto variables cuantitativas como cualitativas (Anexo 8). Con la información registrada se procedió a realizar los siguientes análisis.

- **Regresión exponencial**

Las plantas que se utilizaron en la presente investigación estaban en una etapa juvenil. En este sentido, Lallana y Lallana (1999); Diéguez et al. (2003), señalan que el crecimiento durante esta etapa describe una línea de tendencia exponencial.

Por esta razón, para analizar el crecimiento en función del tiempo se realizaron regresiones exponenciales para cada estrategia de nucleación implementada, donde se consideró un coeficiente de determinación ($R^2 \geq 90$), a fin de determinar si el crecimiento de las plantas de cada estrategia era acorde a la etapa en la que se encontraban. A continuación, se presenta el modelo de regresión exponencial que se empleó para los análisis.

$$y = ae^{bx}$$

Donde: y = variable dependiente

a = pendiente

e = constante de Euler

b = punto donde corta la recta el eje vertical

x = valor de la variable independiente

- **Incremento Corriente Anual**

Para identificar la estrategia que presentó mayor crecimiento en altura al año de haberse implementado las estrategias de nucleación en el ecosistema bosque nublado, se realizó el cálculo del Incremento Corriente Anual (ICA) de la variable altura total de las plantas de cada estrategia. La fórmula empleada para este cálculo fue:

$$ICA = Cf - Ci$$

Donde: ICA = Incremento Corriente Anual

Cf = altura final

Ci = altura inicial

- **Individuos sanos y aceptables (ISA)**

Una vez realizado el cálculo del ICA, se procedió a descartar los individuos con ICA negativo ya que los valores negativos representan problemas de adaptación de

las plantas. En este sentido, para identificar el número de ISA se consideraron las plantas con ICA positivo.

- **Análisis de correlación de Spearman**

Para seleccionar el tipo de correlación con el que se procesaron los datos en la presente investigación, primero se verificó la normalidad de las variables altura total y diámetro basal mediante la prueba de normalidad “Shapiro-Wilk” y “Anderson-Darling” empleando el software estadístico “Past 3”.

En este sentido, la prueba de normalidad realizada mostró que los datos no siguieron una distribución normal. Mondragón (2014); Camacho-Sandoval (2008); Martínez, Tuya, Martínez, Pérez y Cánovas (2009), señalan que la prueba de correlación de rangos de Spearman es el método recomendado cuando las variables cuantitativas no siguen una distribución normal.

Por esta razón, se seleccionó la correlación de Spearman a un nivel de significancia del 1% y 5%, con el propósito de determinar si existen correlaciones estadísticamente significativas entre las variables altura total y diámetro basal de los ISA de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en cada uno de los sitios prioritarios.

El cálculo del coeficiente de correlación de Spearman (r_s), se lo realizó mediante el software “Infostat”. La fórmula que se empleó para analizar los datos se presenta a continuación:

$$p = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde: p = coeficiente de correlación de Spearman

d = número de rangos en las variables del par

n = número de parejas de datos

3.3 Materiales y equipos

A continuación, se presentan los materiales y equipos que fueron necesarios para el desarrollo de la investigación

3.3.1 Materiales

Los materiales que fueron empleados para llevar a cabo la presente investigación se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Materiales

Materiales	
Plantas	Postes de madera de 2m
Botas de caucho	Manguera (etiquetado de plántulas)
Poncho de agua	Flexómetro de 5 m
Gavetas plásticas	Hojas impermeables
Flexómetro de 20 m	Tijeras
Rótulos (identificación de estrategias)	Lápiz de grafito
Cintas de marcaje (amarillo, rojo)	Alambre de jardinería
Corrector (rotulador)	Alambre de puas
Cavahoyos	Barra de construcción bellota

3.3.2 Equipos

Los equipos que fueron utilizados para el desarrollo de la investigación se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Equipos

Equipos
Navegador GPS
Cámara digital
Laptop
Flash memory

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Identificación de los sitios prioritarios para el establecimiento de los ensayos de restauración

A continuación, se presentan tres mapas correspondientes a los resultados obtenidos por cada criterio considerado para la identificación de los sitios prioritarios y un mapa correspondiente a los resultados de la integración de los tres criterios.

- **Criterio Ecológico**

Las coberturas identificadas en el área de estudio fueron: Bosque nublado, páramo, pasto cultivado y urbano. La cobertura que ocupa mayor superficie es la de Bosque Nublado (BN) (1540,82 ha), mientras que, la cobertura urbana ocupa la menor superficie (259,34 ha) en el área de estudio (Figura 3).

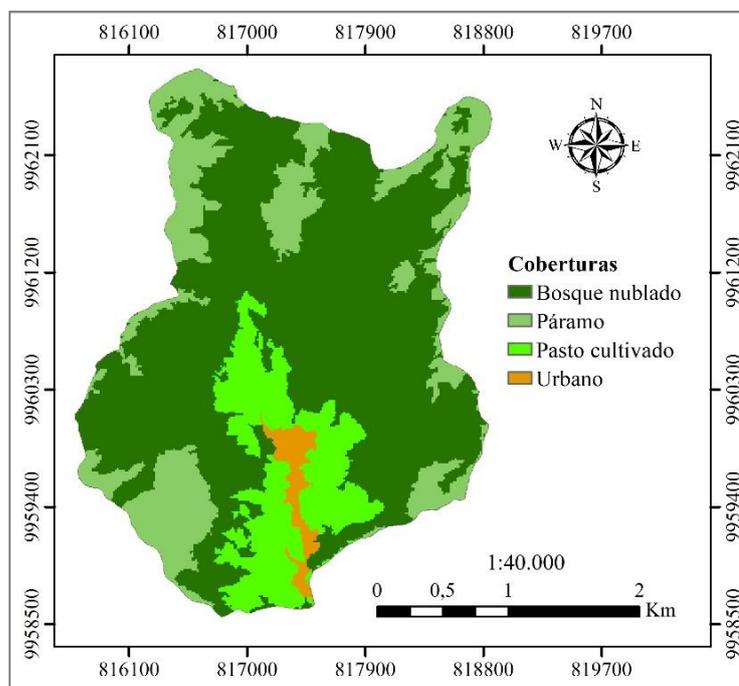


Figura 3. Mapa de coberturas de suelo de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cayambe Coca.

El análisis de conectividad realizado en el área de estudio evidenció, que ésta tiene un área total de 11.595,37 ha. En donde el bosque nublado se encuentra fragmentado en 14 parches, de los cuales solo 6 (parches 1, 2, 3, 9, 13, 14) tienen una Distancia Euclídea al vecino más cercano (ENN) menor o igual a 25 m (Figura 4).

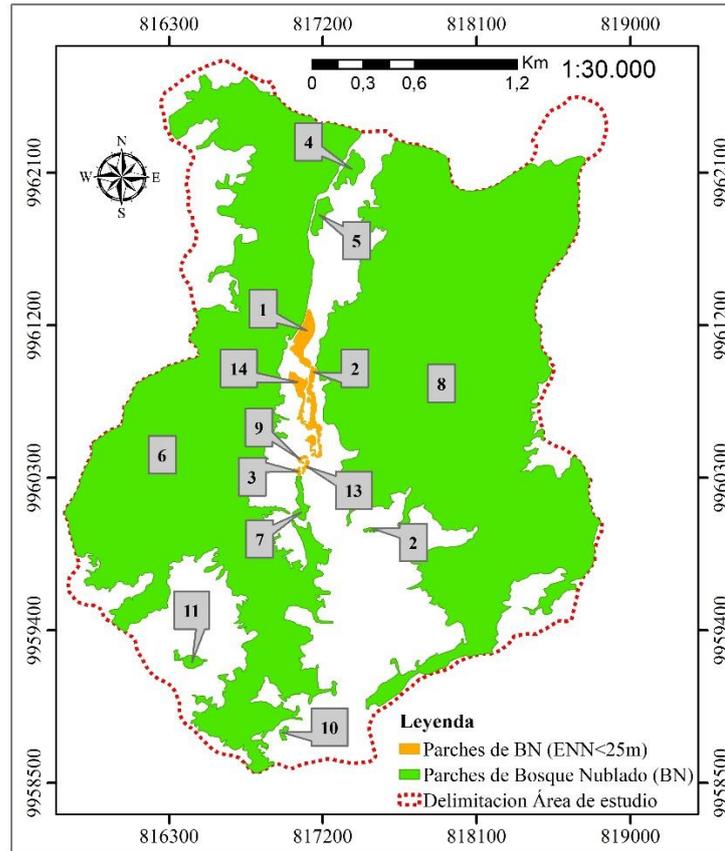


Figura 4. Mapa de Conectividad de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cayambe Coca.

- **Criterio Social**

De acuerdo con las reuniones sostenidas con los actores claves se consideró de importancia la conservación del recurso hídrico desde un enfoque biosocial. Razón por la cual, se priorizaron los parches más cercanos al río Papallacta y al humedal arbustivo de agua dulce. Lo anterior, debido a los beneficios que representan el recurso hídrico en las actividades recreativas, zonas de investigación y de valor educativo (Figura 5).

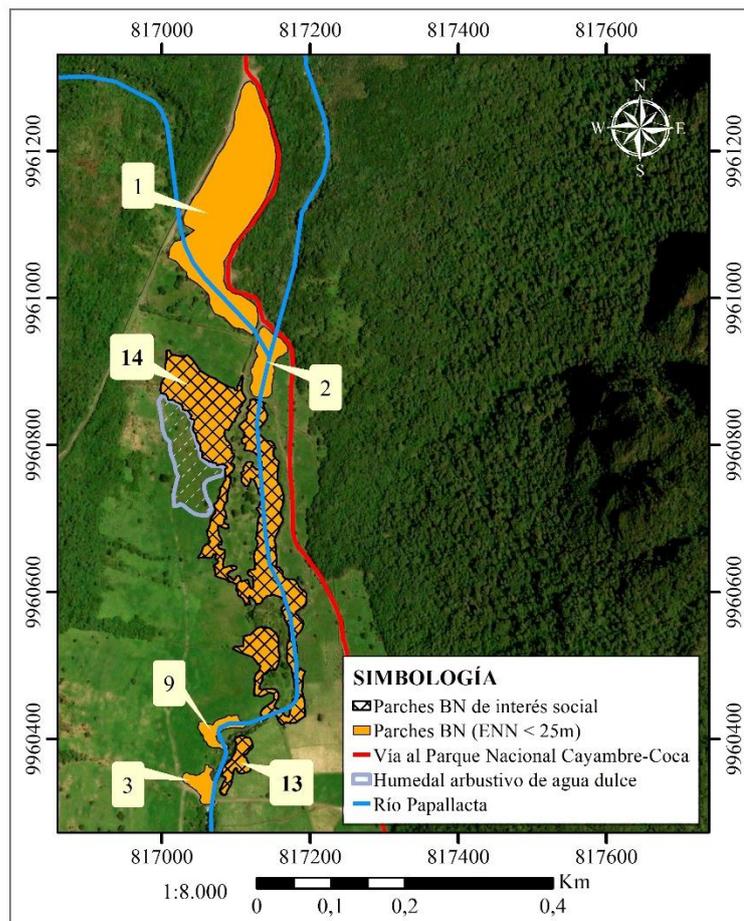


Figura 5. Mapa de los parches de BN de interés social de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cayambe Coca.

- **Criterio de Accesibilidad**

Para la selección de los sitios prioritarios, se consideraron aquellos sitios cercanos a vías de acceso. Es decir, sitios que se encontraran a una distancia que osciló entre 80 y 90 m. Esto con el fin de facilitar el desarrollo de la investigación (Figura 5).

- **Integración de los criterios de selección de los sitios prioritarios**

Mediante la integración de los criterios social, ecológico y de accesibilidad, se identificaron cuatro sitios prioritarios para el establecimiento de los ensayos de restauración ecológica. El sitio prioritario uno se ubicó entre los parches 13 y 14 procurando contribuir con la reconexión de estos parches. Los sitios prioritarios

dos y cuatro se ubicaron en las zonas de amortiguamiento del parche 14 con la finalidad de contribuir al aumento del tamaño de este parche. El sitio prioritario tres se ubicó cerca al parche 14 en un humedal arbustivo de agua dulce, cuyas aguas escurren hacia el río Papallacta con el objetivo de contribuir a la recarga hídrica de este río (Figura 6).

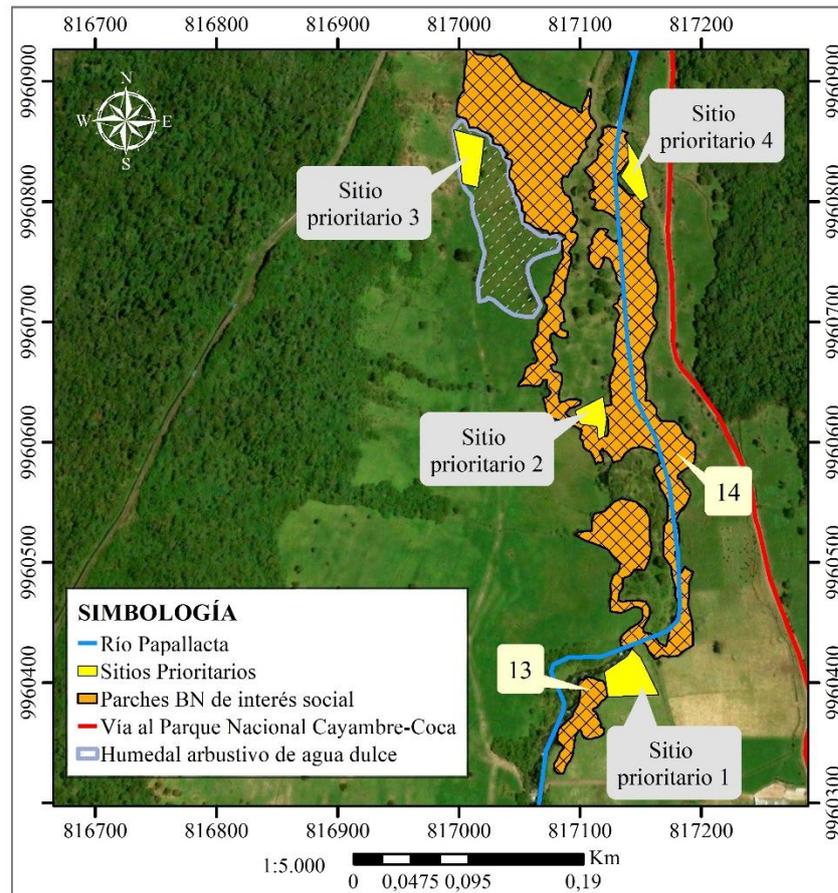


Figura 6. Mapa de los sitios prioritarios para el establecimiento de ensayos de restauración en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cayambe Coca.

Respecto a la ubicación de los sitios prioritarios uno, dos y cuatro, Armenteras y Vargas (2016), señalan que mediante el establecimiento de vegetación en las zonas de amortiguamiento de parches y entre parches cercanos, es posible mejorar la conectividad de paisajes degradados (Figura 6). Por otra parte, el parche 14 donde se ubican estos sitios prioritarios dos y cuatro es de gran importancia, ya que conforma un parche de bosque ripariano que contribuye a la estabilización de las riveras, evita las sequías, retiene propágulos de plantas lo cual facilita el

establecimiento y germinación de especies (Fajardo, Veneklaas, Obregón y Beaulieu, 2015).

En este contexto, Sánchez, Pinilla y Marcena (2015), señalan que al establecer especies arbóreas en pastizales se contribuye con el aumento del contenido de materia orgánica edáfica en el suelo lo que promueve la continuidad y el volumen de la oferta hídrica de los ríos. En consecuencia, a largo plazo, la recuperación de las áreas forestales tendrá un efecto en el incremento de la infiltración y la reducción de la velocidad del escurrimiento superficial (Mintegui y Robredo, 1994).

En términos generales, en base a los criterios de selección, todos los sitios prioritarios se ubicaron a 80 m de distancia de la vía de ingreso al parque nacional Cayambe-Coca con el propósito de facilitar los procesos logísticos y a una distancia aproximada de 5 a 10 m del río Papallacta y del humedal arbustivo de agua dulce procurando contribuir al mantenimiento del recurso hídrico.

Cabe mencionar que, todos los sitios se ubicaron próximos a parches remanentes de bosque nublado cercanos al río Papallacta a fin de contribuir con la conservación de estos remanentes de bosque de gran importancia para la comunidad, ya que es donde se llevan a cabo actividades educativas y turísticas (Figura 6). En este contexto, (Pequeño et al., 2016; Chávez, González y Hernández, 2014; Barredo, 1996; Venegas-López, 2016), señalan que los criterios: ecológico, social y de accesibilidad son claves para seleccionar la trayectoria de restauración ecológica más adecuada y por ende facilitar su cumplimiento.

En consecuencia, el enfoque multicriterio constituyó un aspecto sumamente importante, ya que permitió integrar el interés ecológico por la conservación del ecosistema bosque nublado y el recurso hídrico, con el interés social por la conservación de los espacios naturales donde se desarrollan actividades ecoturísticas y educativas. Sin olvidar, el interés en la accesibilidad lo cual es fundamental para llevar a cabo futuras gestiones logística (mantenimientos y monitoreos) en las estrategias de restauración implementadas.

4.2 Implementación de las estrategias de restauración ecológica: nucleación monoespecífica, nucleación mixta y nucleación asociada de especies nativas en el ecosistema bosque nublado

Con respecto a los resultados obtenidos para la implementación de las estrategias de nucleación, a continuación, se presenta un mapa con la ubicación del ecosistema de referencia, el diseño de las estrategias de nucleación y la descripción de las especies seleccionadas para cada estrategia de nucleación.

- **Ecosistema de referencia**

El ecosistema de referencia seleccionado fue un parche de bosque nublado que según el personal de la Fundación Terra ha sido poco intervenido. Este bosque está ubicado en las zonas altas del área de estudio a una altura de 3550 m s.n.m y a una distancia promedio de 140 m con relación a los sitios prioritarios (Figura 7).

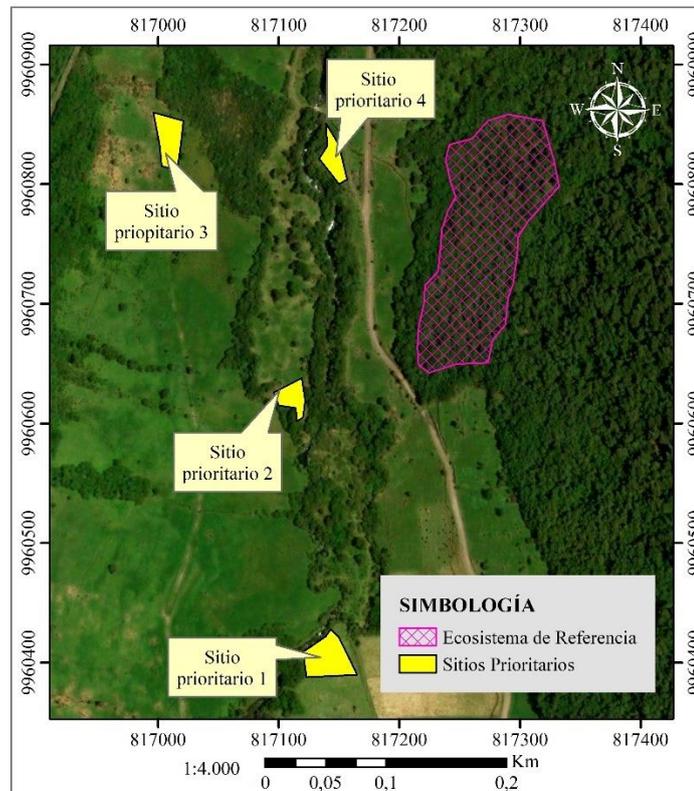


Figura 7. Mapa del ecosistema de referencia en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cayambe Coca.

La vegetación del ecosistema de referencia se caracterizó por una cobertura casi continua de árboles con dosel de aproximadamente de 10 a 15 m de alto. Además, se observó la presencia abundante de líquenes, musgos, helechos, bromelias y algunas orquídeas. El suelo se caracterizó por estar cubierto de materia orgánica con alta dominancia de musgos y helechos. Las especies identificadas en el ecosistema de referencia se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Especies del ecosistema de referencia

Familia	Nombre científico
Araliaceae	<i>Oreopanax</i> sp.
Asteraceae	<i>Gynoxys</i> sp.
Berberidaceae	<i>Berberis</i> sp.
Myrtaceae	<i>Myrcianthes hallii</i> .
Campanulaceae	<i>Siphocampylus giganteus</i>
Chloranthaceae	<i>Hedyosmum</i> sp.
Myrtaceae	<i>Morella pubescens</i>
Dixoniaceae	<i>Dixonia</i> sp.
Buddlejaceae	<i>Buddleja incana</i>
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>
Boraginaceae	<i>Tournefortia</i> sp.
Elaeocarpaceae	<i>Vallea stipularis</i>
Rosaceae	<i>Hesperomeles lanuginosa</i>
Juglandaceae	<i>Juglans neotropica</i>
Melastomataceae	<i>Axinaea quitensis</i>
Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp.
Meliaceae	<i>Cedrela montana</i>
Fabaceae	<i>Lupinus</i> sp.
Rosaceae	<i>Polylepis</i> sp.

Conocer las especies que están presentes en los ecosistemas de referencia, puede ayudar a predecir que especies podrían tener éxito y que problemas se pueden presentar antes de realizar un proyecto de restauración (Fernández et al., 2010). Ya que, como mencionan Vargas et al. (2012), el ecosistema de referencia constituye un modelo para planear un proyecto de restauración y más adelante para su evaluación. En este sentido, definir el ecosistema de referencia se convierte en un

aspecto sumamente importante, ya que sirve de guía dinámica para evaluar y seleccionar las estrategias que aseguren la restauración en ecosistemas degradados.

- **Diseño de la estrategia de nucleación**

El diseño para la implementación de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta utilizó 13 plantas ordenadas a un metro de distancia entre sí, formando un patrón romboidal (Figura 8). López-Barrera (2015), señala que mientras más denso sea el núcleo más rápidamente cambiará el microambiente en su interior, haciéndolo atractivo para plantas colonizadoras intermedias o tardías de la sucesión y para dispersores de semillas. En consecuencia, al implementar densos núcleos de plantas, se podría generar los microsítios de implantación en menor tiempo. Lo cual, podría acelerar el proceso de reactivación de la sucesión ecológica.

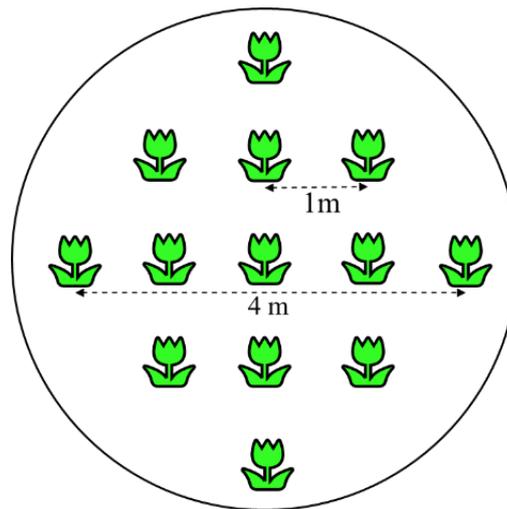


Figura 8. Diseño de los núcleos utilizados para la implementación de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta.

- **Selección de las especies**

Se seleccionaron ocho especies en total para la implementación de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta. A continuación, se presenta la descripción de cada una de ellas.

➤ *Polylepis incana*

Familia: ROSACEAE

Nombre científico: *Polylepis incana* Kunth

Nombre común: Polylepis



En Ecuador se encuentra en la región andina (Volcán Illiniza), en las provincias de Pichincha (Corredor Machachi), Napo, Imbabura y Carchi a una altura de 3500-4500 m s.n.m (MAE y FAO, 2015; Brandbyge, 1991).

Generalmente se encuentran arbustos de 5 a 8 m de altura, se caracteriza por poseer hojas agrupadas en los ápices de las ramas, haz verde oscuro y envés blanco aterciopelado, trifolioladas, folíolos obovados, subcoriáceos (Salamanca y Camargo, 2000; Brandbyge, 1991; Loján, 1992). Posee una inflorescencia de 2-7 cm de largo, con tres a diez flores perfectas con un fruto en aquenio turbinado o fusiforme es irregularmente piloso y/o alado (MAE y FAO, 2015).

En cuanto a los rasgos de historia de vida importantes para la restauración, *Polylepis incana* es una especie de crecimiento lento y de etapa sucesional tardía, los bosques de *Polylepis* se encuentran mezcladas con árboles de otras especies (Yance, 2015). Las hojas de esta especie pueden reducir la evapotranspiración y formar una copa densa que ayuda a mantener el calor y humedad debajo del dosel (Ceccon, 2013).

Esta especie tiene potencial para reforestación y asociación con cultivos agrícolas en zonas de altitud elevada, debido a la alta probabilidad de supervivencia (Brandbyge, 1991), resistencia a los fríos intensos y al aporte de materia orgánica de la corteza que fácilmente se desprende del tallo, el cual es utilizado para fertilizar el suelo (Villarando, Villarando y Villalobos, 2011).

➤ *Juglans neotropica*

Familia: JUGLANDACEAE

Nombre científico: *Juglans neotropica* Diels

Nombre común: Nogal



Se distribuye en el norte de la cordillera de los Andes, desde Venezuela hasta Bolivia, entre los 800 y 3000 m de altitud con precipitaciones anuales de 800 a 2000 mm y temperaturas de 12 a 18 °C (Salazar, 2000).

En Ecuador es nativo y se halla en la región interandina en los valles y estribaciones de la cordillera de Los Andes. Crece por lo general en ambientes moderadamente disturbados, como bosques secundarios, relictos de bosque andino, bordes de bosque e inclusive en potreros (Salazar, 2000; Botina y Menses, 2011).

Este árbol nativo requiere un clima semihúmedo o húmedo, con 1000 - 1500 mm, puede medir hasta 35 m de altura y un diámetro de 40 a 60 cm, con hojas compuestas, alternas, imparipinnadas que pueden medir hasta 70 cm, con glándulas resinosas aromáticas, sin estípulas. Sus flores masculinas están dispuestas en amentos péndulos con una longitud de 10-15 cm, brácteas y flores verdes o verdes-amarillentas (Geilfus, 1994; Salazar, 2000).

El fruto de esta especie es tipo drupa de hasta 7cm de diámetro, de color verde claro en estado inmaduro, en estado madura es globoso de color pardo a negro, su semilla de tipo nuez cerebroide es profundamente fisurada, leñosa y oleaginosa (Botina y Menses, 2011; Salazar, 2000; Vargas, 2002).

En cuanto a los rasgos de historia de vida importantes para la restauración, *Juglans neotropica* es una especie codominante de sucesión tardía. Dentro del bosque clímax, por ser una especie codominante y semiheliófila, se encuentra en sus primeros años creciendo bajo la sombra de especies asociadas (Vargas, 2002).

Debido a esta característica, el nogal se asocia naturalmente con *Alnus spp* aprovechando su sombra. También ha demostrado cualidades para el mejoramiento del suelo; inclusive hace parte de las plantas empleadas en proyectos reforestación en la región Andina, ya que es una especie que no destruye el suelo y hace un gran aporte orgánico a la regeneración del sustrato a través de su hojarasca (Barreto y Herrera, 1990).

➤ *Podocarpus oleifolius*

Familia: PODOCARPACEAE

Nombre científico: *Podocarpus oleifolius* D. Don ex Lamb.

Nombre común: Romerillo



Jorgensen y León-Yáñez (1999), reportan que en Ecuador *Podocarpus oleifolius* se distribuye en las provincias de Azuay, Imbabura, Loja, Morona Santiago, Pichincha, Sucumbíos y Zamora Chinchipe entre los 2000 y 3500 m s.n.m. Esta especie se encuentra clasificada como vulnerable debido a la deforestación y explotación (MAE y FAO, 2015).

Marín (1998), menciona que *Podocarpus oleifolius* es un árbol dioico densamente ramificado que puede llegar a medir 40 m de altura y 80 a 100 cm de diámetro. Es usualmente monopódico, sus hojas son simples alternas y espiraladas con borde entero y coriáceas, su fruto es un estróbilo leñoso.

En cuanto a los rasgos de historia de vida importantes para la restauración, *Podocarpus oleifolius* es una especie de sucesión tardía, utilizada como apoyo en la dieta de poblaciones de aves silvestres, conservación de suelos, estabilización de cauces fluviales y protección de mantos acuíferos (UICN, 2015).

Por lo general, las especies de la familia Podocarpaceae en los bosques neotropicales no son dominantes. Usualmente se encuentran a baja densidad en bosques de alta diversidad, mezcladas con muchas especies de diferentes familias y géneros de Angiospermas (Dalling, Barkan, Bellingham, Healey y Tanner, 2011).

➤ *Alnus acuminata*

Familia: BETULACEAE

Nombre científico: *Alnus acuminata* Kunth

Nombre común: Aliso



Se encuentran a una altura que va desde los 2000 a los 3100 m s.n.m. Se distribuye en las regiones de ceja de monte, bosques montanos nublados y regiones altoandinas. También, se puede encontrar en laderas montañosas muy inclinadas con condiciones secas. Esta especie, se adapta a diversos tipos de suelos y condiciones de humedad (Añazco, 1996; Salazar, 2000).

De acuerdo con Salamanca y Camargo (2000), *Alnus acuminata* mide aproximadamente de 15 a 20 m de alto y 20 a 70 cm de ancho de tronco. En etapa juvenil es ligeramente monopódico, posee hojas simples alternas ovadas aserradas, has verde claro, envés ligeramente pardo, su corteza es gris claro casi blanca, es de hábito caducifolio, el fruto tiene la forma de cono o pequeña piña (Flores y Muños, 1989; Salazar, 2000; Loján, 1992).

En cuanto a los rasgos de historia de vida importantes para la restauración, *Alnus acuminata* es una especie heliófila de estado sucesional temprano, la cual puede crecer en lugares con alto nivel freático o mal drenados y casi siempre conforma bosques altos abiertos o cordones a lo largo de quebradas (Salamanca y Camargo, 2000; Villarpando et al., 2011). Además, es usada en sistemas silvopastoriles para el control de la degradación de los suelos por agricultura y ganadería semiextensiva de laderas; incluso, puede actuar como estabilizador de márgenes de ríos y quebradas (Salamanca y Camargo, 2000).

Dado que el aliso es una especie pionera, juega un rol valioso como rodal protector en laderas erosionadas y en cuencas hidrográficas de tierras altas (Añazco, 1996). Además, esta especie tiene la capacidad de fijar nitrógeno con las raíces, a través de una relación simbiótica de actinomiceto del género *Franquia* (Añazco, 1996; Vizcaíno, 2017).

➤ *Myrcianthes hallii*

Familia: MYRTACEAE

Nombre científico: *Myrcianthes hallii* (O. Berg) Mc Vaugh

Nombre común: Arrayán



Polo, Paredes, Maldonado, Cuesta y Pinto (2017), señalan que *Myrcianthes hallii* es una especie característica de los bosques altoandinos. En Ecuador esta especie se ha registrado desde los 1600 a los 3300 m s.n.m. (Jorgensen, Borgtoft, y Jaramillo, 1989).

Esta especie es un árbol nativo mediano a grande que mide de 6 a 15 m de altura y diámetro de 30 a 40 cm, posee una corteza externa pardo-rojiza, que se desprende en láminas. Las hojas se caracterizan por ser simples, opuestas, ovadas y coriáceas, con haz verde, oscuro brillante y envés más claro. Las flores de esta especie son de color blanco y manchas

rosadas en los botones. El fruto es una drupa negra-violeta cuando está maduro (Mora, 2005; Lojan, 1992).

Dentro de los rasgos de historia de vida importantes para la restauración, *Myrcianthes hallii* se caracteriza por ser un árbol de crecimiento lento, sucesión tardía cuyos frutos son alimento para aves (MAE y FAO, 2015). Esta especie, podría ser importante en la ampliación de la masa de bosque andino si se la planta en los bordes de los fragmentos, ya que esta especie mantiene la humedad en los bordes de los fragmentos y protege a las plantas de la radiación y variaciones de temperatura (Suárez, 2008).

➤ *Cedrela montana*

Familia: MELIACEAE

Nombre científico: *Cedrela montana* Moritz ex Turcz

Nombre común: Cedro, cedro andino, cedrillo, cedro de montaña, cedro blanco.



Esta especie es nativa de los Andes, se distribuye de los 1500 a 3500 m s.n.m. en las provincias de Azuay, Bolívar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Loja, Napo, Pichincha y Tungurahua. Crece con una precipitación anual entre 1000 y 2000 mm, con una temperatura entre los 12° y 18°C, con una humedad superior al 40% (Cabrera y Ordóñez, 2004; MAE y FAO, 2014).

El cedro alcanza una altura de 25 m a 30 m. Posee hojas compuestas alternadas paripinadas y corteza pardo-grisácea muy fisurada. El fruto es una cápsula dehiscente con semillas pequeñas aladas (Borja y Lasso, 1990). Dentro de los rasgos de historia de vida importantes para la restauración, *Cedrela montana* se caracteriza por ser una especie de sucesión tardía, de crecimiento lento y codominante. Trujillo

(2013), reporta que esta especie es tolerante a la sombra y resiste períodos de sequía hasta de 5 meses.

Palacios (2011), señala que esta especie brinda múltiples beneficios ecológicos como la recuperación de suelos, enriquecimiento de ecosistemas degradados y protección de vertientes de agua. Además, cabe recalcar que esta especie es altamente apreciada en la medicina tradicional (Champagne, Koul, Isman, Scudder y Towers, 1992).

➤ *Morella pubescens*

Familia: MYRICACEAE

Nombre científico: *Morella pubescens* Humb. Y Bonpl. ex Willd.

Nombre común: Laurel de cera



Esta especie se encuentra distribuida ampliamente en Sudamérica, se encuentra en bosques secundarios, bordes de bosques y sitios perturbados. En Ecuador, se encuentra sobre los 1200 m s.n.m. y ha sido registrada en las provincias de Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Loja, Morona, Napo, Pichincha, Tungurahua y Zamora (MAE y FAO, 2015).

Según Hoyos y Cabrera (1999), *Morella pubescens* es un arbusto aromático nativo pequeño de unos 2 a 16 m de altura, con diámetros de hasta 25-30 cm, ramillas pubescentes y denso follaje verde. Los mismos autores, señalan que las hojas de esta especie son simples alternas, decusadas, elípticas con glándulas amarillentas en ambas caras, margen aserrado, rugosas, pecíolo pubescente, el haz es glabro de color verde claro y el envés es pubescente de color verde amarillento. Posee una inflorescencia axilar en amentos con flores muy pequeñas, rojizas y agrupadas. Su

fruto es una drupa globosa de color café-blancuecina, de consistencia granulosa y cubierto por una capa cerosa (Palacios, 2011).

En cuanto a los rasgos de historia de vida importantes para la restauración, esta especie es apropiado para la restauración de zonas erosionadas y para plantar en taludes de carreteras y pendientes abruptas (MAE y FAO, 2015). Minga y Verdugo (2016), mencionan que *Morella pubescens* al ser una especie de sucesión temprana, es un componente importante de la vegetación secundaria. Así mismo, Lojan (2003), señala que debido a su capacidad de fijar nitrógeno esta especie es recomendada para la recuperación de suelos degradados. Incluso, sus frutos constituyen un recurso importante para algunas especies de aves.

➤ *Oreopanax ecuadorensis*

Familia: ARALIACEAE

Nombre científico: *Oreopanax ecuadorensis* Seem.

Nombre común: Pumamaqui



León-Yáñez, Valencia, Pitman, Endara, Ulloa y Navarrete (2011), señalan que *Oreopanax ecuadorensis* se encuentra ampliamente distribuida en la sierra norte ecuatoriana entre los 2500 - 4000 m s.n.m. Esta especie ha sido registrada en las reservas ecológicas Cayambe-Coca y Cotacachi-Cayapas y en áreas próximas al Parque Nacional Sangay, así como en la

reserva ecológica El Ángel.

Según Montúfar (2000), esta especie es común en los remanentes de vegetación andina, en cercas vivas y vegetación arbustiva a lo largo de los ríos. *Oreopanax ecuadorensis* alcanza una altura de 5 a 15 m, posee hojas lobuladas o enteras, el haz es de color verde y el envés es café grisáceo. El fruto es una baya, posee una

inflorescencia terminal o subterminal, compuesta de cabezuelas o umbelas paniculadas o en ramo (Borja y Lasso, 1990).

Considerando los rasgos de historia de vida importantes para la restauración, *Oreopanax ecuadorensis* es una especie de sucesión tardía que se desarrolla muy bien en semisombra (Suárez, 2008). Esta especie es usada con fines de restauración para la protección de cuencas ya que evita la erosión y deslaves, también es usada como cercas vivas (Franco, Peñafiel, Cerón y Freire, 2016).

➤ **Estrategia de nucleación monoespecífica**

La especie seleccionada para la implementación de la estrategia de nucleación monoespecífica fue *Polylepis incana*, ya que, debido a su crecimiento denso y aporte de materia orgánica (Villarando, Villarando y Villalobos, 2011; Ceccon, 2013), podría inhibir el crecimiento del pasto. Para esta estrategia, se emplearon 13 plantas distribuidas como se muestra en la Tabla 4. Esta estrategia se ubicó limitando con las matrices de senderos y campo abierto en cada sitio prioritario (Figura 9).

Tabla 4. Distribución y cantidad de plantas para la implementación de la estrategia de nucleación monoespecífica

Nucleación monoespecífica	Especies	Cantidad de plantas por especie
	<i>Polylepis incana</i>	13
Cantidad total de plantas por núcleo: 13		

Varios estudios, señalan que los bosques de *Polylepis incana* se encuentran de forma natural en mosaicos de bosquecillos de tamaños diversos sobre suelos pobres de textura y naturaleza variable (Renison et al., 2013; Hofstede, Lips y Jongsma,

1998). Esto sugiere, que la especie crea las condiciones adecuadas para su desarrollo.

En consecuencia, implementar *Polylepis incana* en un núcleo podría garantizar el éxito del establecimiento de la estrategia de nucleación monoespecífica, lo cual contribuirá con la reactivación del proceso de sucesión ecológica debido al elevado aporte de materia orgánica. Además, debido a su crecimiento denso, se podría acelerar la generación de micrositios de implantación donde se establecerán especies nativas de los remanentes de bosques más cercanos.

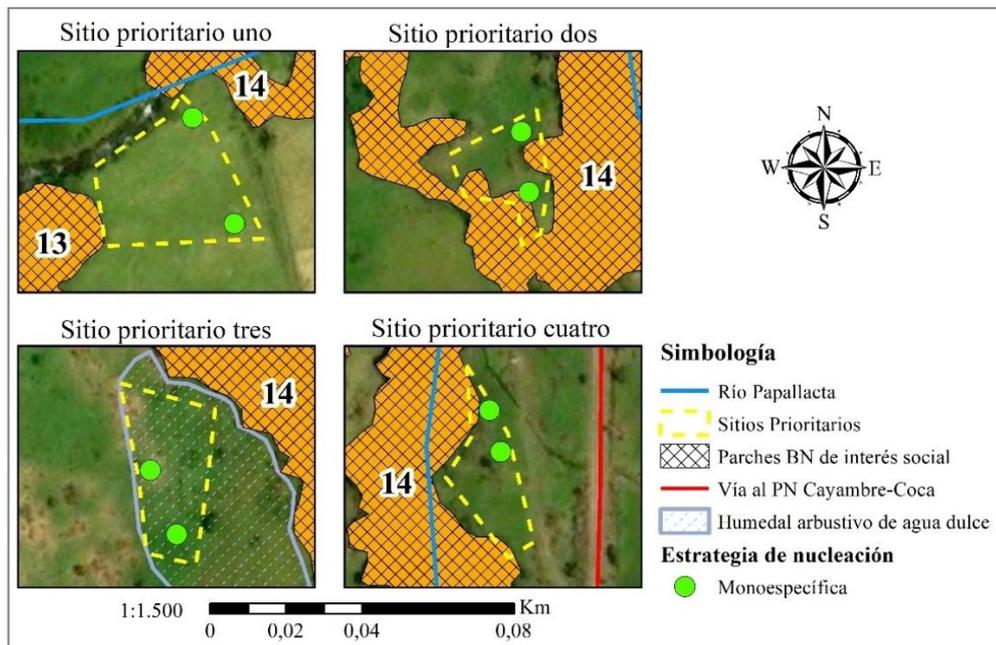


Figura 9. Ubicación de la estrategia de nucleación monoespecífica en los en los cuatro sitios prioritarios.

➤ Estrategia de nucleación asociada

Para la implementación de la estrategia de nucleación asociada, las especies seleccionadas fueron *Alnus acuminata*, *Juglans neotropica* y *Cedrela montana*, debido a que estas especies se encuentran asociadas de forma natural y poseen características que mejoran el suelo (Leyva, 1980; Cantillo, 1989; Barreto y Herrera, 1990; Salamanca y Camargo, 2000; Palacios, 2011).

En esta estrategia se emplearon por núcleo: 5 plantas de *Alnus acuminata*, 4 plantas de *Cedrela montana* y 4 plantas de *Juglans neotropica*. Las plantas de la especie *Alnus acuminata*, al ser de hábito heliófilo y de crecimiento rápido, se ubicaron en el centro y en los extremos de los núcleos a fin de proveer sombra a las plantas de las especies *Cedrela montana* y *Juglans neotropica*, las cuales se caracterizan por ser semiheliófitas en etapas tempranas de desarrollo (Tabla 5). Esta estrategia se ubicó en las zonas centrales de cada sitio prioritario (Figura 10).

Tabla 5. Distribución y cantidad de plantas para la implementación de la estrategia de nucleación asociada

Nucleación asociada	Especies	Cantidad de plantas por especie
	 <i>Alnus acuminata</i>	5
	 <i>Cedrela montana</i>	4
	 <i>Juglans neotropica</i>	4
Cantidad total de plantas por núcleo: 13		

Vargas et al. (2012), señalan que el establecimiento de núcleos con especies que contribuyen al mejoramiento de la estructura y disponibilidad de nutrientes en el suelo, pueden constituirse como catalizadores de la sucesión ya que permiten el establecimiento de especies del bosque dentro del potrero. Además, Leyva (1980); Cantillo (1989), reportan a las especies *Juglans neotropica* y *Cedrela montana* asociadas de forma natural con *Alnus* sp. con la cual crecen bien aprovechando su sombra, ya que estas especies son semiheliófitas (Suárez, 1987).

En consecuencia, al establecer núcleos con especies que se encuentran asociadas naturalmente y que presenten características que mejoren el suelo, se podría incrementar la probabilidad de establecimiento de la estrategia de nucleación asociada en la matriz de pasto y por ende, contribuir con la reactivación de la sucesión ecológica en el ecosistema de bosque nublado.

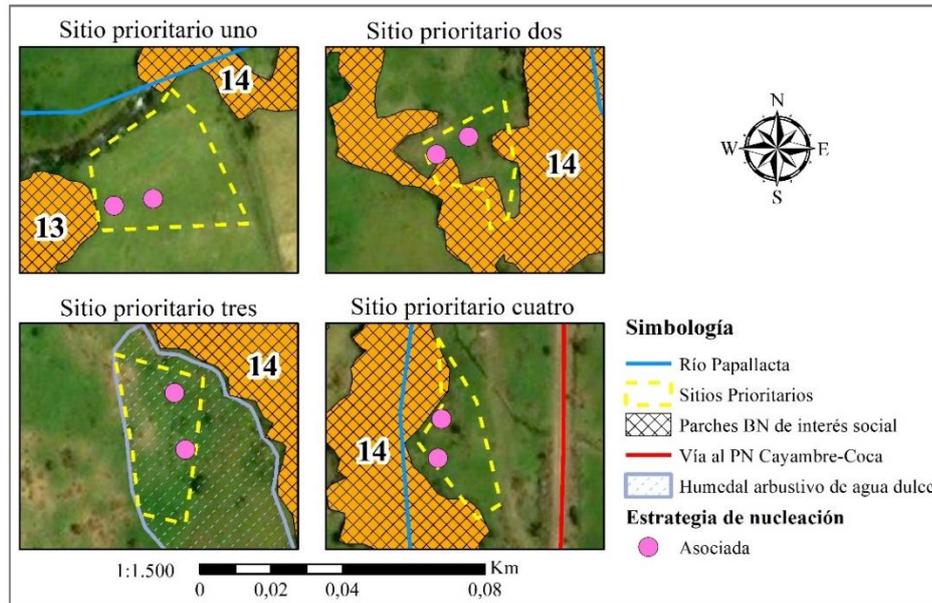


Figura 10. Ubicación de la estrategia de nucleación asociada en los en los cuatro sitios prioritarios.

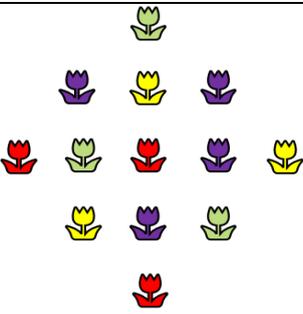
➤ Estrategia de nucleación mixta

Para la implementación de las estrategias de nucleación mixta, las especies que se seleccionaron fueron: i) *Myrcianthes hallii*, la cual se caracteriza por ser una especie de sucesión tardía cuyos frutos son alimento para aves (MAE y FAO, 2015). Suárez (2008), señala que esta especie mantiene la humedad en los bordes de los fragmentos y protege a las plantas de la radiación y temperatura. ii) *Oreopanax ecuadorensis*, especie de sucesión tardía usada con fines de restauración para la protección de cuencas ya que evita la erosión y deslaves (Bermeo, 2015; Suárez, 2008 y Franco, Penafiel, Cerón y Freire, 2016). iii) *Morella pubescens* especie de sucesión temprana apropiada para la restauración de zonas erosionadas debido a su capacidad de fijar nitrógeno (MAE y FAO, 2015). iv) *Podocarpus oleifolius*, especies de sucesión tardía ampliamente utilizada para la conservación de suelos, la protección de mantos acuíferos y como apoyo en la dieta de poblaciones de aves silvestres (UICN, 2015).

Es importante mencionar que, *Podocarpus oleifolius* no se encontró en el ecosistema de referencia, sin embargo, ésta se registró en los parches de bosque

nublado de interés social, por lo que el personal técnico de Fundación Terra sugirió seleccionar esta especie debido a sus rasgos de historia de vida importantes para la restauración y por estar clasificada como especie vulnerable (MAE y FAO, 2015). En esta estrategia, se emplearon 13 plantas distribuidas de forma aleatoria como se muestra en la Tabla 6. Esta estrategia se ubicó cerca de los remanentes de bosque (Figura 11).

Tabla 6. Distribución y cantidad de plantas para implementación de la estrategia de nucleación mixta

Nucleación mixta	Especies	Cantidad de plantas por especie
	 <i>Podocarpus oleifolius</i>	3
	 <i>Morella pubescens</i>	3
	 <i>Myrcianthes halli</i>	3
	 <i>Oreopanax ecuadorensis</i>	4
Cantidad total de plantas por núcleo: 13		

Las especies seleccionadas, además de aportar diversidad al área disturbada, presentan diferentes tasas de crecimiento y poseen varias características que podrían contribuir con el proceso de restauración. Varios autores, señalan que para restaurar potreros abandonados en matriz de pasto en bosque nublado, se requiere establecer especies intermedias y tardías de la sucesión desde un inicio y no solo introducir especies de rápido crecimiento (De la Peña-Domene, Martínez-Garza y Howe, 2013; Williams-Linera, Álvarez-Aquino, Muñiz-Castro y Pedraza, 2015).

Del mismo modo, López-Barrera, Bonilla-Moheno y Toledo-Aceves (2017), señalan que la siembra de árboles con diferentes tasas de crecimiento en forma de densos núcleos, resulta ser una estrategia exitosa para inhibir el crecimiento de pastos. Además, Williams-Linera, López-Barrera y Bonilla-Moheno (2015), afirman que es necesario implementar técnicas de restauración activa que implique una combinación de especies pioneras, intermedias y tardías para lograr la recuperación del ecosistema bosque nublado.

En conclusión, la implementación de cuatro especies diferentes en la estrategia de nucleación mixta podría contribuir a mejorar la composición estructural de los sitios prioritarios y acelerar el proceso de sucesión ecológica, ya que cada especie seleccionada cuenta con ciertas características que contribuyen al proceso de restauración ecológica ya sea apoyando al proceso de recuperación del suelo o como perchas vivas y fuente de alimento para aves.

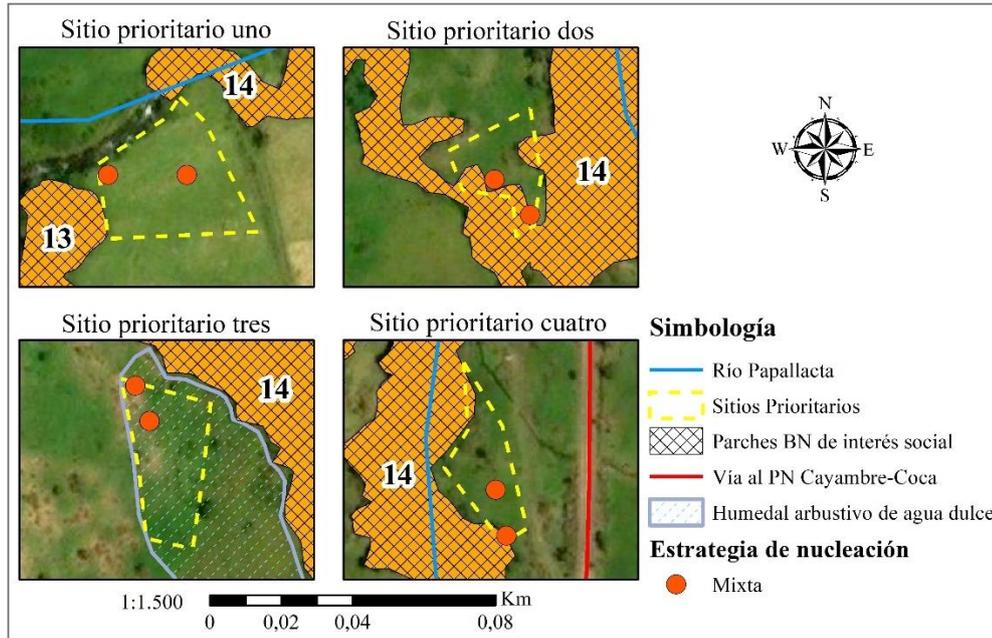


Figura 11. Ubicación de la estrategia de nucleación mixta en los en los cuatro sitios prioritarios.

Finalmente, para cada una de las estrategias de restauración se colocó una réplica, de este modo, se establecieron seis núcleos (dos núcleos monoespecíficos, dos núcleos asociados y dos núcleos mixtos) por cada sitio prioritario (Figura 12). En cada uno de los sitios prioritarios se sembraron 78 plantas divididas en seis núcleos de 13 plantas. En total, fueron usadas 312 plantas para toda la investigación (Figura 12).

La técnica de nucleación ha demostrado, según Rey-Benayas y Bullock (2015), que en paisajes agrícolas mejora el suministro de hábitat y la dispersión de semilla. Del mismo modo, Corbin y Holl (2012); Ceccon (2013), señalan que la nucleación resulta ser una opción atractiva que imita los procesos sucesionales. Es decir,

aumenta la probabilidad de formar diversas rutas alternativas a la sucesión, para ayudar a la recolonización de plantas leñosas.

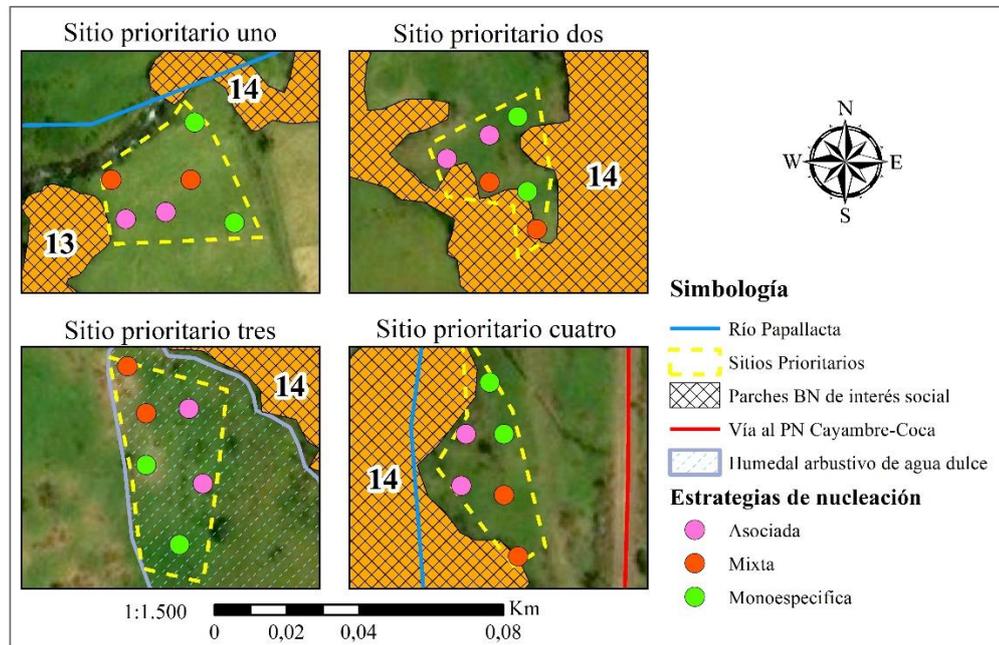


Figura 12. Ubicación de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en los cuatro sitios prioritarios.

Díaz-Paéz y Polaní (2017); Reis et al. (2010), mencionan que la restauración con nucleación puede ser una herramienta para reconciliar la competencia por el uso de la tierra entre la agricultura, la conservación y la restauración de bosques a escala de paisaje. Además, esta técnica requiere menor área de plantación de especies nativas lo que puede reducir costos a diferencia de una reforestación tradicional. En consecuencia, la técnica de nucleación puede convertirse en una opción factible ya que considera aspectos sociales, ecológicos y económicos para lograr la restauración de ecosistemas degradados.

4.3 Evaluación de la efectividad de las estrategias de nucleación Monoespecífica, Asociada y Mixta implementadas en cada sitio prioritario

A continuación, se presentan los resultados de supervivencia y crecimiento obtenidos tras los monitoreos realizados de manera mensual durante un año.

4.3.1 Supervivencia de las estrategias de nucleación mono-específica, asociada y mixta en los cuatro sitios prioritarios

Para el sitio prioritario uno, la estrategia de nucleación mixta presentó una probabilidad de supervivencia del 100%. Mientras que, la probabilidad de supervivencia para la estrategia de nucleación asociada fue del 80,7%, siendo ésta la más baja (Figura 13).

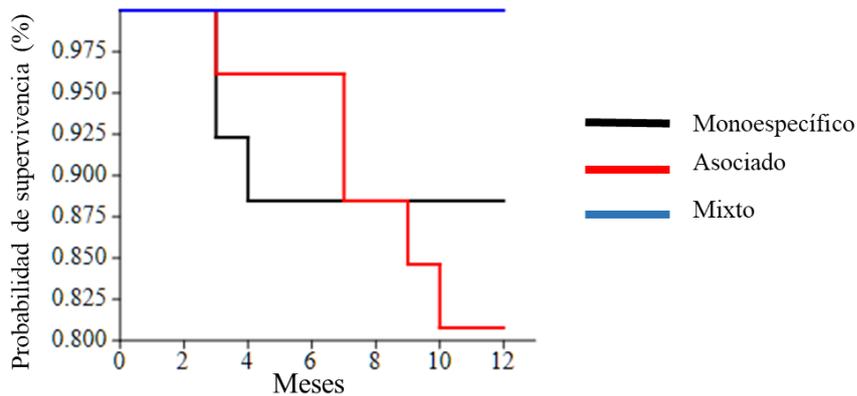


Figura 13. Probabilidad de supervivencia de las estrategias de nucleación mono-específica, asociada y mixta en el sitio prioritario uno.

En cuanto al sitio prioritario dos, la estrategia de nucleación mixta obtuvo el 100% de probabilidad de supervivencia, siendo éste, el porcentaje más alto en este sitio. Por otra parte, las estrategias de nucleación mono-específica y asociada obtuvieron el mismo porcentaje de supervivencia (96%) (Figura 14).

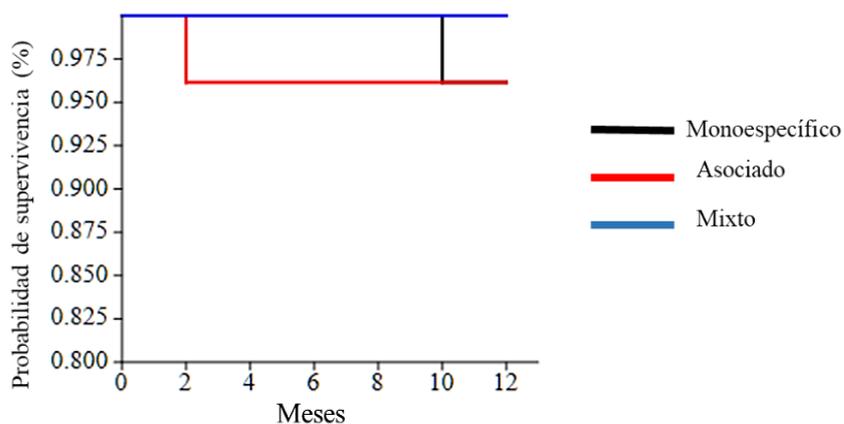


Figura 14. Probabilidad de supervivencia de las estrategias de nucleación mono-específica, asociada y mixta en el sitio prioritario dos.

Para el sitio prioritario tres, la estrategia de nucleación mixta presentó una probabilidad de supervivencia del 100%. Con respecto a las estrategias de nucleación monoespecífica y asociada, éstas presentaron una probabilidad de supervivencia del 96% (Figura 15).

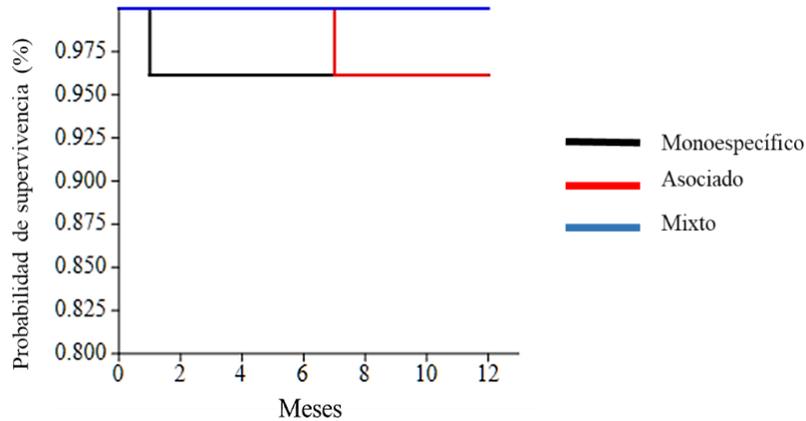


Figura 15. Probabilidad de supervivencia de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en el sitio prioritario tres.

En el sitio prioritario cuatro, las estrategias de nucleación monoespecífica y mixta, presentaron una probabilidad de supervivencia del 96%. En contraste, la probabilidad de supervivencia de la estrategia de nucleación asociada resultó ser la más baja con un 92,3% (Figura 16).

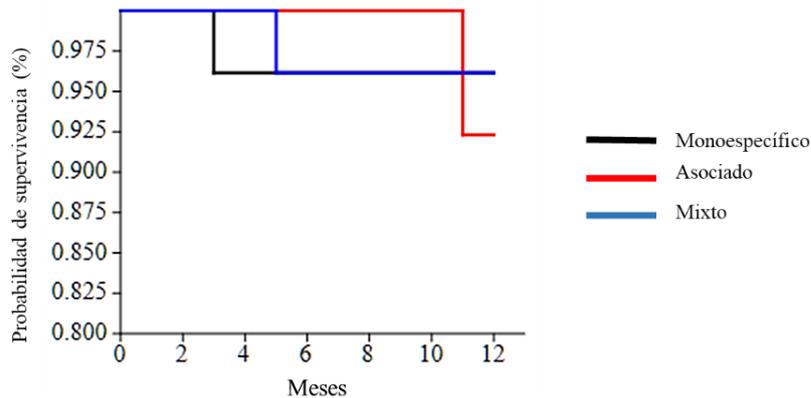


Figura 16. Probabilidad de supervivencia de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en el sitio prioritario cuatro.

En síntesis, las tres estrategias de nucleación implementadas en los cuatro sitios prioritarios registraron una probabilidad de supervivencia sobre el 80%. En cuanto

a la mortalidad registrada en todos los sitios prioritarios, ésta podría estar relacionada con el manejo inadecuado de las plantas al momento del trasplante, ya que mediante los monitoreos se identificaron algunas plantas con señales de estrés, las cuales murieron en diferentes meses posteriores a la plantación. Este resultado coincide con lo señalado por Landis, Tinus, McDonald, Barnnet y Nisley (2004), quienes afirman que el manejo inadecuado al momento del trasplante puede inducir a la planta a un estado de estrés (shock del trasplante), el cual causa marchitamiento, clorosis, baja supervivencia o disminución en el crecimiento de las plantas, esto puede hacerse evidente semanas o meses después de la plantación.

En general, la probabilidad de supervivencia de las estrategias de nucleación en los cuatro sitios prioritarios fue relativamente alta. Esto podría deberse a la calidad de material vegetativo, ya que se seleccionaron plantas con las mejores características morfológicas. Este resultado guarda relación con lo expuesto por Sánchez (2013); Navarro, Del Campo y Cortina (2006), quienes señalan que una buena calidad del material vegetativo previo a la plantación puede aumentar la probabilidad de supervivencia en el campo.

Varios autores, consideran la alta probabilidad de supervivencia como un indicador de que las plantas posiblemente han superado el estrés de la plantación y han demostrado adaptabilidad frente a las condiciones del entorno (Zúñiga, 2017; Hernández-Sandoval et al. 2010). En consecuencia, los resultados obtenidos en lo referente a la supervivencia señalan que el éxito de una plantación con fines de restauración podría estar relacionada con el estado de la planta y su manejo previo a la plantación.

4.3.2 Análisis de regresión exponencial para el crecimiento en altura de las estrategias de nucleación mono-específica, asociada y mixta en los cuatro sitios prioritarios

Los resultados correspondientes a los análisis de las regresiones exponenciales que se realizaron en el sitio prioritario uno, mostraron que la estrategia de nucleación

monoespecífica obtuvo un coeficiente de determinación ($R^2 = 0,97$). No obstante, para la estrategia de nucleación mixta el coeficiente de determinación fue ($R^2 = 0,91$). En cambio, para la estrategia de nucleación asociada el coeficiente de determinación fue ($R^2 = 0,81$), siendo éste el coeficiente de determinación más bajo (Figura 17).

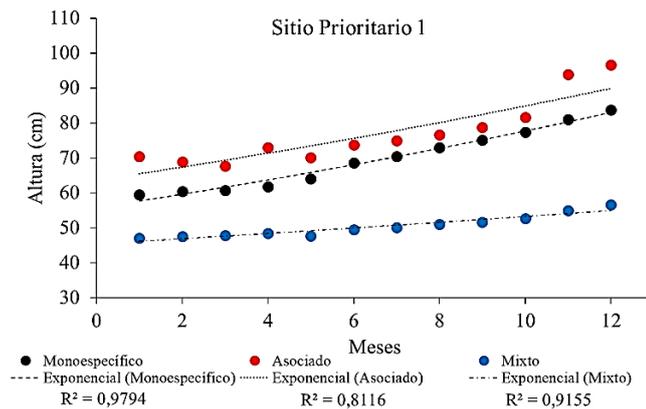


Figura 17. Regresiones exponenciales de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en el sitio prioritario uno.

En cuanto a los análisis de las regresiones exponenciales que se realizaron en el sitio prioritario dos, la estrategia de nucleación monoespecífica obtuvo un coeficiente de determinación ($R^2 = 0,96$). Mientras que, para la estrategia de nucleación mixta el coeficiente de determinación fue ($R^2 = 0,92$). Sin embargo, la estrategia de nucleación asociada obtuvo el coeficiente de determinación más bajo ($R^2 = 0,70$) (Figura 18).

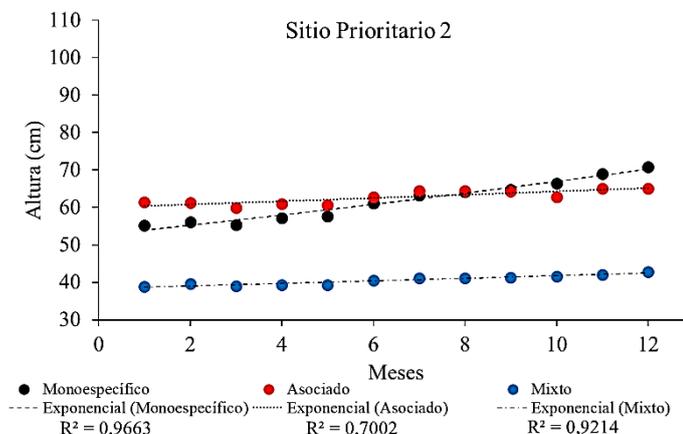


Figura 18. Regresiones exponenciales de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en el sitio prioritario dos.

En el sitio prioritario tres, los resultados del análisis de las regresiones exponenciales para las tres estrategias evidenciaron que para la estrategia de nucleación monoespecífica el coeficiente de determinación fue ($R^2 = 0,10$). Por otro lado, para la estrategia de nucleación mixta el coeficiente de correlación fue ($R^2 = 0,61$) y para la estrategia de nucleación asociada fue ($R^2 = 0,04$). En este sentido, los coeficientes de determinación obtenidos para el sitio prioritario tres resultaron ser los más bajos en comparación con los sitios prioritarios uno, dos y cuatro (Figura 19).

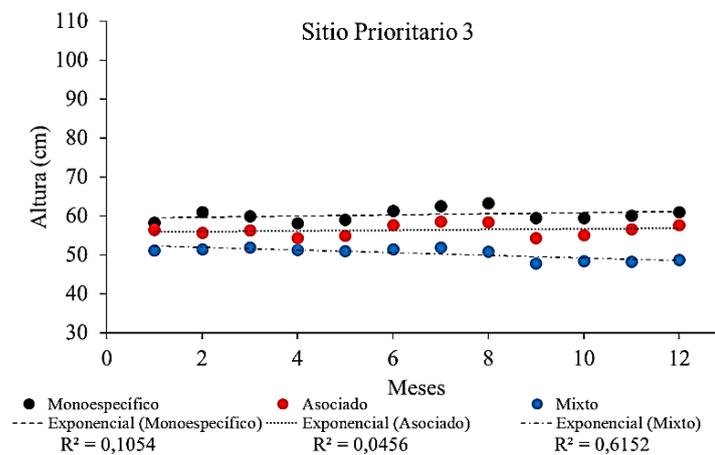


Figura 19. Regresiones exponenciales de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta de restauración en el sitio prioritario tres.

Respecto a los análisis de las regresiones exponenciales que se realizaron en el sitio prioritario cuatro, la estrategia de nucleación monoespecífica obtuvo un coeficiente de determinación ($R^2 = 0,97$). Mientras que, para la estrategia de nucleación mixta se registró un coeficiente de determinación de ($R^2 = 0,93$). En contraste, la estrategia de nucleación asociada obtuvo el coeficiente de determinación más bajo ($R^2 = 0,51$) (Figura 20).

Los análisis de las regresiones exponenciales que se realizaron con los datos de altura en función del tiempo para las estrategias de nucleación monoespecífica y mixta implementadas en los sitios prioritarios uno, dos y cuatro presentaron un coeficiente de determinación ($R^2 \geq 90$), lo cual permitió afirmar que existe una tendencia de crecimiento exponencial. Este resultado tiene relación con lo expuesto

por Lallana y Lallana (1999); Diéguez et al. (2003); Barrera, Suárez y Melgarejo (2010), quienes señalan que el crecimiento normal de una planta en estado juvenil describe una curva exponencial. En consecuencia, las plantas de las estrategias monoespecífica y mixta muestran una buena capacidad de adaptación frente las condiciones de los sitios uno, dos y cuatro.

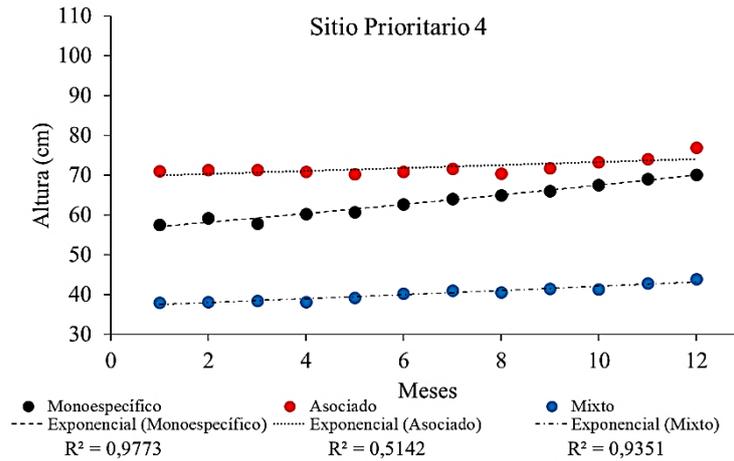


Figura 20. Regresiones exponenciales de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en el sitio prioritario cuatro.

Sin embargo, la estrategia de nucleación asociada presentó un coeficiente de determinación ($R^2 < 90$) en todos los sitios prioritarios, lo que permitió evidenciar que no existe ajuste a la línea de tendencia exponencial. Esto posiblemente podría estar relacionado con la caída constante de ramas, hojas y yemas apicales en las plantas de *Cedrela montana* y *Juglans neotropica* que se observó durante los monitoreos.

Este resultado guarda relación con lo señalado por Toro y Roldan (2018); Ortega (2006), quienes mencionan que el comportamiento irregular en crecimiento de las especies *Cedrela montana* y *Juglans neotropica*, podría ser causado por el ataque de *Gretchena Garai* (micro lepidóptero barrenador), el cual oviposita en la base de las hojas tiernas de los brotes apicales, afectando el crecimiento e influyendo incluso en la mortalidad de estas especies. En conclusión, el comportamiento irregular en crecimiento de las especies *Cedrela montana* y *Juglans neotropica* de

la estrategia de nucleación asociada podría estar relacionado con la presencia de lepidópteros barrenadores en los sitios experimentales.

Los análisis de las regresiones exponenciales realizados para las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta implementadas en el sitio prioritario tres, presentaron coeficientes de determinación ($R^2 < 90$) lo que permitió aseverar que no existe una tendencia de crecimiento exponencial en las especies de estas tres estrategias. Esto probablemente sea causado por los suelos pobremente drenados que presentó el sitio prioritario tres (humedal arbustivo de agua dulce).

En este sentido, varios estudios, señalan que los suelos pobremente drenados dificultan la respiración de los sistemas radiculares produciendo amarillamiento, enroscamiento, hojas con bordes necróticos y marchitez (Delgado, 1985; Villon, 2007; Ortega y Salgado, 2001). En conclusión, las condiciones del sitio prioritario tres probablemente influyeron en la tendencia de crecimiento de las plantas, ya que éstas se presentaron más pequeñas y descoloridas en relación con las plántulas de los otros sitios prioritarios.

4.3.3 Incremento Corriente Anual (ICA) en la altura total de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en los cuatro sitios prioritarios

Considerando el cálculo del ICA en altura de las tres estrategias en los cuatro sitios prioritarios, los resultados mostraron que en el sitio prioritario uno se presentaron los incrementos corrientes anuales (ICAs) más altos para la estrategia de nucleación monoespecífica (24, 2 cm/año), asociada (26,2 cm/años) y mixta (9,6 cm/mes). Mientras que, en el sitio prioritario tres se registraron los ICAs más bajos para la estrategia de nucleación monoespecífica (24, 2 cm/año), asociada (26,2 cm/años) y mixta (9,6 cm/mes) (Figura 21).

Los resultados obtenidos para el sitio prioritario tres tienen similitud con lo expuesto por Villar et al. (2008); Ley (2014), quienes señalan que la energía que una planta utiliza para sintetizar compuestos defensivos, lo hace a costa de un menor

crecimiento o viceversa en áreas con condiciones adversas. En este sentido, los bajos ICAs registrados en las plantas del sitio prioritario tres, posiblemente estén relacionados con las condiciones de este sitio (Humedal arbustivo de agua dulce), ya que al comparar los resultados de supervivencia (probabilidad de supervivencia alta) con el crecimiento (ICAs bajos), se podría señalar que las plantas de este sitio posiblemente se encuentren enfocando esfuerzos en la supervivencia a costa de un bajo crecimiento.

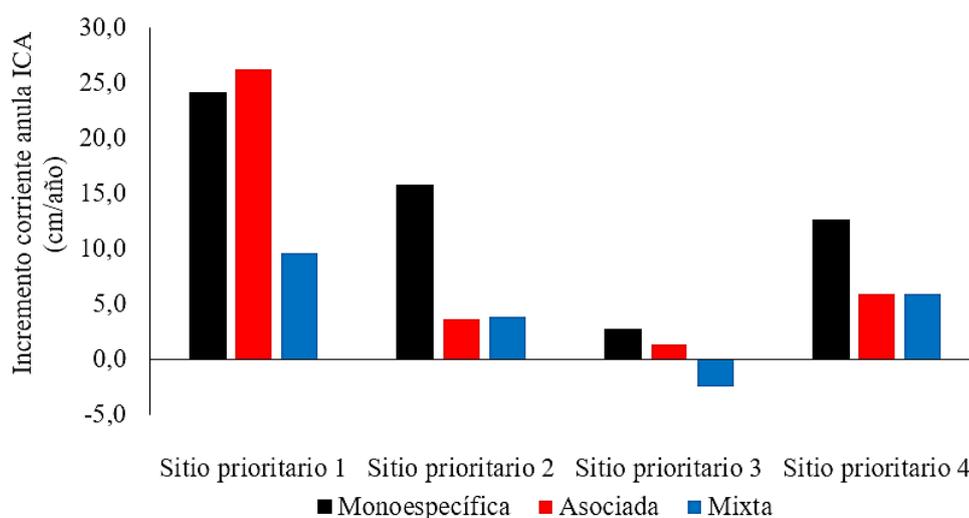


Figura 21. Incremento Corriente Anual (ICA) en altura total de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en los cuatro sitios prioritarios.

4.3.4 Individuos sanos y aceptables (ISA) de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en los cuatro sitios prioritarios

Los resultados del análisis de los individuos sanos y aceptables mostraron que la estrategia de nucleación monoespecífica presentó el mayor número de ISA en todos los sitios prioritarios. Mientras que, la estrategia de nucleación asociada registró el menor número de ISA en todos los sitios prioritarios (Figura 22). El sitio prioritario tres registró el número de ISA más bajo para todas las estrategias (Figura 22).

Este resultado guarda relación con los análisis de las regresiones exponenciales realizadas anteriormente (Figura 10), donde en el sitio prioritario tres, los coeficientes de determinación para las tres estrategias fueron menores a 90, lo cual

permitiría corroborar la influencia que ejerce el humedal arbustivo de agua dulce presente en el sitio prioritario tres sobre el establecimiento de las plantas.

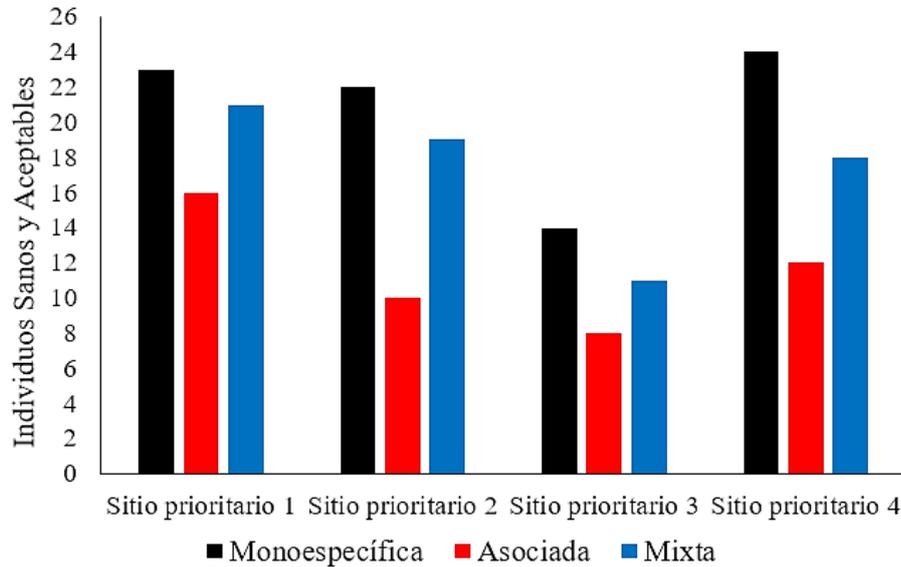


Figura 22. Individuos Sanos y Aceptables (ISA) de las estrategias de nucleación mono-específica, asociada y mixta en los cuatro sitios prioritarios.

4.3.5 Análisis de correlación de Spearman entre las variables Incremento Corriente Anual (ICA) de la altura total y el diámetro basal de los individuos sanos y aceptables

Al realizar el análisis de correlación de Spearman entre las variables ICA de la altura total y el diámetro basal de los individuos sanos y aceptables en el sitio prioritario uno, los resultados mostraron, que la estrategia de nucleación mono-específica registró una correlación positiva ($r_s = 0,62$) altamente significativa entre las variables a un nivel de confianza del 1% y 5% (Tabla 7).

En cuanto a la estrategia de nucleación asociada, las variables presentaron una correlación positiva ($r_s = 0,87$) altamente significativa a un nivel de confianza del 1% y 5%. Por último, para la estrategia de nucleación mixta se obtuvo una correlación positiva ($r_s = 0,49$) estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 5% (Tabla 7).

En el sitio prioritario dos, los análisis de correlación de Spearman mostraron, que las variables analizadas en la estrategia de nucleación mono-específica presentaron una correlación negativa ($r_s = -0,15$) y en la estrategia de nucleación mixta presentaron una correlación positiva ($r_s = 0,29$). Sin embargo, estas correlaciones no fueron estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 1% y 5%. En contraste, en la estrategia de nucleación asociada las variables analizadas presentaron una correlación positiva ($r_s = 0,96$) estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 1% y 5% (Tabla 7).

Tabla 7. Correlación Spearman entre las variables altura total y diámetro basal de los individuos sanos y aceptables (ISA) de las de las tres estrategias de restauración.

Sitios	Estrategias de nucleación	n (ISA)	Coef. Correlación Spearman (r_s)	Sig	Nivel. Sig	
					α 0,05	α 0,01
Sitio prioritario 1	Mono-específica	23	0,62	**	0,415	0,532
	Asociada	16	0,87	**	0,503	0,635
	Mixta	21	0,49	*ns	0,435	0,556
Sitio prioritario 2	Mono-específica	22	-0,15	ns	0,425	0,544
	Asociada	10	0,96	**	0,648	0,794
	Mixta	19	0,29	ns	0,460	0,584
Sitio prioritario 3	Mono-específica	14	0,27	ns	0,538	0,675
	Asociada	8	0,64	ns	0,738	0,881
	Mixta	11	0,44	ns	0,618	0,755
Sitio prioritario 4	Mono-específica	24	0,52	**	0,406	0,521
	Asociada	12	0,83	**	0,587	0,727
	Mixta	18	0,31	ns	0,472	0,600

** altamente significativo, *ns significativo, ns no significativo

En el sitio prioritario dos, los análisis de correlación de Spearman mostraron, que las variables analizadas en la estrategia de nucleación mono-específica presentaron una correlación negativa ($r_s = -0,15$) y en la estrategia de nucleación mixta presentaron una correlación positiva ($r_s = 0,29$). Aun así, estas correlaciones no fueron estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 1% y 5%. Por otra parte, en la estrategia de nucleación asociada las variables analizadas presentaron

una correlación positiva ($r_s = 0,96$) estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 1% y 5% (Tabla 7).

Los análisis de correlación de Spearman realizados en el sitio prioritario tres mostraron, que las variables analizadas en la estrategia de nucleación mono-específica, asociada y mixta presentaron correlaciones positivas ($r_s = 0,27$, $r_s = 0,64$ y $r_s = 0,44$ respectivamente). Sin embargo, ninguna de estas correlaciones fue estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 1% y 5% (Tabla 7).

En el sitio prioritario cuatro, los resultados del análisis de correlación de Spearman mostraron, que las variables analizadas en las estrategias de nucleación mono-específica ($r_s = 0,52$) y asociada ($r_s = 0,83$) presentaron correlaciones positivas estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 1% y 5%. Mientras que, la estrategia de nucleación mixta presentó una correlación positiva ($r_s = 0,31$) estadísticamente no significativa entre las variables analizadas (Tabla 7).

En general, de los 12 análisis de correlación realizados entre las variables ICA de la altura total y el diámetro basal para los individuos sanos y aceptables de las estrategias de nucleación mono-específica, asociada y mixta en los cuatro sitios prioritarios, las estrategias que presentaron correlaciones estadísticamente significativas fueron: la estrategia de nucleación mono-específica en los sitios prioritarios uno y cuatro, y la estrategia de nucleación asociada en los sitios prioritarios uno, dos y cuatro.

En contraste, las estrategias que presentaron correlaciones estadísticamente no significativas al 1% y 5%, podrían estar relacionadas con aspectos, tales como: las diferentes tasas de crecimiento de las especies que conformaron las estrategias (nucleación asociada y mixta), especies atacadas por plagas (*Cedrela montana* y *Juglans neotropica*) o como en el sitio prioritario tres, donde el suelo saturado del humedal arbustivo de agua dulce, causó problemas en la etapa de establecimiento para todas las estrategias implementadas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se identificaron cuatro sitios prioritarios para el establecimiento de ensayos de restauración ecológica, los cuales se ubicaron cerca a los parches de bosque nublado que registraron más alta conectividad y que además fueron considerados importantes por los actores clave.

Las especies nativas identificadas en el bosque de referencia, que estuvieron disponibles en el vivero de Papallacta y que se ajustaron a los criterios de formulación para la implementación de las estrategias de restauración ecológica fueron: *Polylepis incana* para la estrategia de nucleación monoespecífica, *Alnus acuminata*, *Cedrela montana* y *Juglans neotropica* para la estrategia de nucleación asociada y para la estrategia de nucleación mixta *Myrcianthes hallii*, *Oreopanax ecuadorensis*, *Podocarpus oleifolius* y *Morella pubescens*.

La probabilidad de supervivencia de las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta en los cuatro sitios prioritarios fue superior al 80% durante el primer año de monitoreo.

Las estrategias de nucleación monoespecífica y mixta implementadas en los sitios prioritarios uno, dos y cuatro presentaron una tendencia de crecimiento exponencial.

La estrategia de nucleación asociada presentó problemas de adaptación en los cuatro sitios prioritarios debido, probablemente, al ataque de micro lepidópteros barrenadores.

En el sitio prioritario tres, las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta presentaron problemas de adaptación posiblemente causados por las condiciones de este sitio.

Las estrategias de nucleación monoespecífica, asociada y mixta implementadas en el sitio prioritario uno, presentaron los ICAs más altos y el mayor número de ISA. Mientras que, en el sitio prioritario tres todas las estrategias implementadas, presentaron los ICAs más bajos y el menor número de ISA.

Las estrategias que presentaron correlaciones estadísticamente significativas fueron: las estrategias de nucleación monoespecífica y asociada.

Las estrategias más efectivas en los sitios prioritarios uno y cuatro fueron la nucleación monoespecífica y la asociada. Mientras que, la estrategia más efectiva en el sitio prioritario dos fue la asociada. En contraste, en el sitio prioritario tres ninguna estrategia de nucleación resultó efectiva.

La estrategia de mayor efectividad en la recuperación inicial del ecosistema bosque nublado en una matriz de pasto con remanentes de bosque cercanos, fueron las estrategias de nucleación monoespecífica y asociada.

5.2 Recomendaciones

Dar continuidad a la presente investigación a fin de monitorear el proceso de reclutamiento de las plántulas provenientes de los boques remanentes en las estrategias de nucleación implementadas en la parroquia de Papallacta.

Considerando que en el sitio prioritario tres hubo más problemas de adaptación, se recomienda probar la estrategia de nucleación con otras especies del ecosistema de referencia a fin de identificar especies con mayor tolerancia a las condiciones del Humedal arbustivo de agua dulce.

Se recomienda establecer acciones de restauración para bosque nublado que empleen las técnicas de nucleación monoespecífica y asociada ya que demostraron una buena probabilidad de supervivencia y una buena capacidad de adaptación durante el primer año de establecimiento.

Considerando que la disponibilidad de plantas en el vivero de Papallacta fue limitada, se sugiere impulsar investigaciones sobre técnicas de producción de especies nativas de bosque nublado con la finalidad de aumentar la disponibilidad de plantas para futuros programas de restauración ecológica en la parroquia.

REFERENCIAS

- Acero-Nitola, A. y Cortés-Pérez, F. (2014). Propagación de especies nativas de la microcuenca del río La Vega, Tunja, Boyacá, con potencial para la restauración ecológica. *Revista Académica Colombiana. Ciencias*, 38 (147), 195-205.
- Aguilar-Garavito, M. y Ramírez, W. (2015). *Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres*. Bogotá D.C, Colombia: Editorial Alexander von Humboldt.
- Aguirre, N. (2011). *Educación para un mundo sostenible: La Restauración Ecológica en el Ecuador*. Ecuador: Nikolay Aguirre. Recuperado de <https://nikolayaguirre.com>
- Aguirre, N. y Torres, J. (2013). *Guía para la restauración ecológica en los páramos del Antisana*. Quito, Ecuador: FONAG
- Álvarez-Aquino, C., Williams-Linera, G. y Newton, C. (2004). Experimental native tree seedling establishment for the restoration of Mexican cloud forest. *Restoration Ecology*, (12), 412-418.
- Álvarez-Aquino, C., Williams-Linera, G. y Pedraza, R. (2008). Experiencias sobre restauración ecológica en la región del bosque de niebla del centro de Veracruz. En L. R. Sánchez-Velásquez, J. Galindo-González y F. Díaz Flesicher (Eds.), *Ecología, manejo y conservación de los ecosistemas de montaña en México* (pp. 125-145). Conabio, México:Mundi.
- Álvarez, P., Carrillo, G., De la Cadena, G., Ortega, S. y Páez, T. (2009). *Restauración, rehabilitación y reafectación de un paisaje de bosque de niebla en el bosque protector Mindo-Nambillo (Chocó Andino, Ecuador)*. Recuperado de <http://www.rncalliance.org>
- Añazco, M. (1996). *El Aliso*. Quito, Ecuador: Fernando Heredia.
- Arriaga, L. (2009). Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiescalar. *Investigación Ambiental*, 1 (1), 6-16.
- Armenteras, D. y Vargas, O. (2016). Patrones del paisaje y escenarios de restauración: acercando escalas. *Acta biológica colombiana*, 21 (1), 229-239.

- Armenteras, D., González, T., Retana, J. y Espelta, J. (2016). *Degradación de Bosques en Latinoamérica: Síntesis conceptual, metodologías de evaluación y casos de estudio nacionales*. Costa Rica: IBERO-REDD+
- Barbosa, O. y Marquet, P. (2002). Effects of forest fragmentation non the beetle assemblage at the relict forest of Fray Jorge Chile. *Oecologia*, 132 (2), 296-306.
- Báez, S., Ambrose, K. y Hofstede, R. (2011). Ecological and social bases for the restoration of a high andean cloud forest: Preliminary results and lessons from a case study in northern Ecuador. *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*, 628-643.
- Barrantes, G., Chaves, H. y Vinueza, M. (2001). *El Bosque en el Ecuador: Una visión transformadora para el desarrollo y la conservación*. Ecuador: Imprefecpp.
- Barredo, J. (1996). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en el ordenamiento territorial*. España: RA-MA
- Barrera, J., Suárez, D. y Melgarejo, L. (2010). Análisis de crecimiento en plantas. En L. M. Melgajero. (Ed.), *Experimentos en Fisiología Vegetal* (pp. 25-37). Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Barreto, G. y Herrera, J. (1990). *Juglans neotropica*. Bogotá, Colombia: Guadalupe LTDA.
- Becerra, E. (1967). *Estado actual de los conocimientos e importancia de la investigación sobre semillas forestales tropicales*. Costa Rica.
- Bermeo, C. (2015). *Evaluación de tres tratamientos pre germinativos con cuatro tipos de sustratos y dos bioestimulantes en la etapa de germinación y desarrollo de la especie nativa pumamaqui (oreopanax ecuadorensis) en el vivero forestal Belisario Quevedo, sector Illuchi, provincia de Cotopaxi* (Tesis de pregrado). Latacunga, Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Boanares, D. y Schetini, C. (2014). The use of nucleation techniques to restore environment: a bibliometric analysis. *Naturaleza & Conservação*, 12 (2), 93-98.
- Borja, C. y Lasso, S. (1990). *Plantas Nativas para Reforestación en el Ecuador*. Quito, Ecuador: Fundación Natura.

- Botina, J. y Menses, O. (2011). *Juglans neotropica*. En J. R. Botina. (Ed.), *Planes de manejo para la conservación de 22 especies focales de plantas en el departamento del Valle del Cauca* (pp.176 -186). Santiago de Cali, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC.
- Bubb, P., May, L., Miles, L. y Sayer, J. (2004). *Cloud Forest Agenda*. UNEP-WCMC, Cambridge, UK.
- Bubb, P. Aldrich, M. y Sayer, J. (2002). Los bosques de niebla tropicales de montaña: es hora de actuar. *Unasylva*. 53 (208). Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/004/y3549s/Y3549S00.htm>
- Brandbyge, J. (1991), *Programa de reforestación en áreas marginales de la sierra ecuatoriana (CESA - Intercooperation Suiza). Reforestación de los Andes Ecuatorianos con especies nativas*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de energía.
- Brown, A. y Kappelle, M. (2001). *Introducción a los Bosques Nublados del Neotrópico: Una Síntesis Regional*. Costa Rica: INBio.
- Bruijnzeel, S. y Hamilton, L. (2001). *Tiempo decisivo para las selvas de neblina*. París, Francia: UNESCO.
- Cabrera, M. y Ordóñez, O. (2004). *Fenología, almacenamiento de semillas y propagación a nivel de vivero de diez especies forestales nativas del sur del Ecuador* (Tesis pregrado). Universidad de Loja, Loja, Ecuador
- Camacho-Sandoval, J. (2008). Asociación entre variables: Correlación no paramétrica. *Acta Médica Costarricense*, 50 (3), 144-146.
- Cantillo, H. (1989). *Efecto de la fertilización en vivero en le crecimiento de Alnus jorullensis H. B.K., Cedrela montana turez, Juglans neotropica Dode y Laphoersia speciosa a diferentes dosis de N, P, K* (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Ceccon, E. (2013). *Restauración en bosques tropicales: Fundamentos ecológicos, prácticos y sociales*. México: Ediciones Díaz de Santos.
- Challenger, A. y Dirzo, R. (2009). Tendencias de Cambio y estado de la biodiversidad, los ecosistemas y sus servicios. En CONABIO (Ed.), *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*.

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México* (pp. 37-75). México: CONABIO
- Chamblas, C. (2015). *Evaluación de supervivencia y crecimiento de especies nativas establecidas en un ensayo de restauración ecológica en la reserva nacional Nonguen, Chile*. (Tesis de pregrado). Universidad de Concepción, Chile.
- Champagne, D., Koul, O., Isman, M., Scudder, G. y Towers, G. (1992). Biologically Activity of limonoids from the Rutales. *Phytochemistry*, 31, 377-394.
- Chávez, H., González, M. y Hernández, P. (2014). Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6 (27), 8-23.
- Código Orgánico del Ambiente (COA). (2017). Registro Oficial Suplemento 983. (12 de abril de 2017).
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro Oficial 449*. (20 de Octubre de 2008).
- Convenio de la Diversidad Biológica. (1995). *Registro oficial 647*. (6 de marzo de 1995).
- Corbin, J. y Holl, K. (2012). Applied nucleation as a foresting strategy. *Forest Ecology and Management*, 225 (2012), 37-46.
- Correa, A., Mendoza, M. y López, E. (2014). Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México. *Revista de Geografía Norte Grande*, 59, 7-23.
- Cortina, J., Navarro, R. y Del Campo, A. (2006). Evaluación del éxito de la reintroducción de especies leñosas en ambientes mediterráneos. En Organismo Autónomo Parques Nacionales. (Ed.), *Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos Estado actual de conocimientos* (pp. 11-25). España, Madrid: Sociedad Anónima de fotocomposición Talisio.
- Corvalán, P. y Hernández, J. (2009). *Apuntes de dendrometría: Modelos de crecimiento*. Chile: Universidad de Chile

- Dalling, J., Barkan, P., Bellingham, P., Healey, J. y Tanner, E. (2011). Ecology and distribution of Neotropical Podocarpaceae. En B. L. Turner y L.A. Cernusak (Eds.), *Ecology of the Podocarpaceae in Tropical Forests* (pp. 435-6). Estados Unidos: Smithsonian Contributions to Botany.
- Daza, M., Hernández, F. y Triana, F. (2014). Efectos del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz-Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67 (1), 7189-7200.
- Delgado, L. (1985). Drenaje Predial, Aspectos generales. *IPA, Quilamapu*, (23), 35-38.
- De la Peña-Domene, M., Martínez-Garza, C. y Howe, H. (2013). Early recruitment dynamics in tropical restoration. *Ecological Applications*, 23 (5), 1124-1134.
- Di Benedetto, A. y Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *Revista de investigaciones agropecuarias*, 42 (3), 258-282.
- Díaz-Páez, M. y Polanía, J. (2017). Experiencia piloto de nucleación con especies nativas para restaurar una zona degradada por ganadería en el norte de Antioquia, Colombia. *Biota Colombiana*, 18 (1), 60-69.
- Diéguez, U., Barrio, M., Castedo, F., Ruíz, A., Álvarez, M., Álvarez, J. y Rojo, A. (2003). *Dendrometría*. España: Mundi-Prensa.
- Ellis, E. (2013). *The Encyclopedia of Earth: Land -use and land-cover change*. Washington, EU.: Environmental Information Coalition. Recuperado de <http://editors.eol.org>
- Echeverría, C., Bolados, G., Rodríguez-Echeverry, J., Aguayo, M. y Premoli, A. (2014) Ecología de paisajes forestales. En C. Donoso, M.E. González y A. Lara (Eds.), *Ecología forestal. Bases para el manejo sustentable y conservación de los bosques nativos de Chile* (pp. 583-604). Chile: Ediciones UACH.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2012). *Guía para la aplicación de normas fitosanitarias en el sector forestal*. Roma.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2016). *Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra*. Roma
- Fajardo, A., Veneklaas, E., Obregón, S. y Beaulieu, N. (2015). *Los bosques de Galería guía para su apreciación y conservación*. Cali, Colombia: CIAT.
- Fernández, I., Morales, N., Olivares, L., Salvatierra, J., Gómez, M. y Montenegro, L. (2010). *Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales*. Chile: Gráfica Lom.
- Ford-Lloyd, B., Kell, S. y Maxted, N. (2008) Establishing conservation priorities for crop wild relatives. En N. Maxted, B. Ford-Lloyd, S. Kell, J.M. Iriondo, M. Dulloo y J.Turok (Eds). *Crop Wild Relative Conservation and Use* (pp110-119). Wallingford, Reino Unido.
- Franco, W., Peñafiel, M., Cerón, C. y Freire, E. (2016). Biodiversidad productiva y asociada en el valle interandino norte del Ecuador. *Bioagro*, 28 (3), 181-192.
- Flores, C. y Muñoz, C. (1989). *Determinación de los usos posibles de Alnus acuminata H.B.K y Freziera canascens H.B.K. en base al estudio de las propiedades físico-mecánicas y de trabajabilidad* (Tesis pregrado), Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Garibello, J. (2003). *Restauración de ecosistemas a partir del manejo de la vegetación: Guía metodológica*. Colombia.
- Garavito, N., Álvarez, E., Arango, S., Araujo, A., Blundo, C., Boza, T.,...Newton, A. (2012). Evaluación del estado de conservación de los bosques montanos en los Andes tropicales. *Ecosistemas*, 21 (1-2), 148-166.
- Gastó, J. (2001). *Sucesión ecológica*. Buenos Aires: Galicia
- Geilfus, F. (1994). *El árbol al servicio del agricultor manual de agroforestería para el desarrollo rural*. Turrialba, Costa Rica: CATIE / Enda-Caribe.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Papallacta. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Papallacta*. Ecuador.

- González, J., Pambi, V., Uyaguari, E. y Zhiñin, H. (2017). Estado actual de la restauración ecológica en la Región Sur del Ecuador. *CEDAMAZ*, (7), 16-25.
- Gonzalez-Rivas, B y Castro-Marín, G. (2011). Factores a considerar en la regeneración natural del bosque tropical seco en nicaragua. *LA CALERA*, 11(16), 5-11.
- Guariguata, M. y Kattan, G. (2002). *Ecología de bosques neotropicales*. Costa Rica: Editorial Tecnológica.
- Hernández-Sandoval, L., González, M., Malda, G., Suzán, H., Bustos, D. y Terrones, R. (2010). Establecimiento y crecimiento en las primeras etapas de diez especies arbustivas nativas, en sitios deforestados de la microcuenca de Santa Rosa, Jáuregui, Querétaro, México. *CIENCIA UAQ*, 3 (2), 27-41.
- Holl, K., Loik, M., Lin, E. y Samuels, I. (2000). Tropical montane forest restoration in Costa Rica: overcoming barriers to dispersal and establishment. *Restoration Ecology*, 8 (4), 339-349.
- Hofstede, R., Lips, J. y Jongsma, W. (1998). *Geografía, ecología y forestación de la sierra alta del ecuador*. Quito, Ecuador: Abya-Yala.
- Hooper E., Condit R. y Legendre P. (2002). Responses of 20 native tree species to reforestation strategies for abandoned farmland in Panama. *Ecological Applications*, 12 (6), 1626-1641.
- Howe, H. y Martinez-Garza, C. (2014). Restoration as experimental. *Botanical science*, (92), 459-468.
- Hoyos, J. y Cabrera, C. (1999). *Guía para el cultivo, aprovechamiento y conservación del Laurel de cera Myrica pubescens H.&B. ex Willdenow*. Convenio Andrés Bello. Santafé de Bogotá, Colombia.
- Jorgensen, P.; Borgtoft, H. y Jaramillo, J. (1989). *Estudios botánicos sobre la taxonomía*. Quito, Ecuador.
- Jorgensen, P. y León-Yáñez. (1999). Catalogue of the vascular plants of Ecuador. Missouri Botanical Garden. USA: Missouri Botanical Garden.
- Kattan, G. (2002). Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*, 1, 561-582.

- Landis, D., Tinus, R., McDonald, S., Barnett, J. y Nisley, R. (2004). *Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor*. Washington, Estados Unidos: Forest Service
- Lallana, V. y Lallan, M. (1999). *Manual de prácticas de fisiología vegetal*. Entre Ríos, Argentina: Parana Parana 1999.
- Leija, E., Reyes-Hernández, H., Reyes-Pérez, O., Flores, J. y Sahagún, F. (2016). Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México. *Madera y Bosques*, 22 (1), 125-140.
- León-Yáñez, S., Valencia, R., Pitman, N., Endara, L., Ulloa, C., y Navarrete, H. (2011). *Libro Rojo. Segunda edición*. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador
- Ley, J. (2014). *Crecimiento y supervivencia de cinco especies arbóreas en el interior de bosques secundarios y pastizales en un bosque húmedo de la zona sur de Costa Rica* (Tesis de posgrado). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Leyva, A. (1980). *Árboles de la Sabana de Bogotá. Bogotá*. Colombia: Ediciones Unidas.
- Lojan, L. (1992). *El Verdor de los Andes. Árboles y Arbustos Nativos para el Desarrollo Forestal Alto Andino*. Quito, Ecuador: Luz de América.
- Lojan, L. (2003). *El Verdor de Los Andes Ecuatorianos, Realidades y Promesas. Loja, Ecuador: Soboc Grafic*
- López, V., Balderas, M., Chávez, M., Pérez, J. y Gutiérrez, J. (2015). Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. *Ciencia ergo-sum*, 22(2), 136-144.
- López-Barrera, F. (2015). *Restauración de bosques y selvas. Lección 2.1. Diplomado en línea: Restauración de ecosistemas y servicios ambientales*. Edición 2015. Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas, Instituto de Ecología A.C. y El Colegio de la Frontera Sur.
- López-Barrera, F., Garcia-Franco, J., Mehlreter, K., Rojas-Soto, O., Aguirre, A., Landgrave, R., Ortega-Pieck, A.,...Rojas, B. (2016). Ecología de la restauración del bosque nublado en el centro de Veracruz. En E. Ceccon y

- C. Martínez-Garza (Eds.), *Experiencias mexicanas en restauración de ecosistemas* (pp. 103-130). México: CONABIO.
- López-Barrera, F., Bonilla-Moheno, M. y Toledo-Aceves, T. (2017). Restauración del bosque de neblina con un enfoque de paisaje. *Agroproductividad*, 10 (1), 29-36.
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador) (2012). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental*. Quito, Autor.
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador) y FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), IT. (2014). *Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales*. Quito, Ecuador.
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador) y FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), IT. (2015). *Especies forestales leñosas arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador*. Quito, Ecuador: Flacsoandes.
- Marín, A. y Vásquez, G. (1998). Ecología y silvicultura de las podocarpaceas andinas de Colombia. Colombia: Smurfit.
- Margolis, H. y Brand, G. (1990). An ecophysiological basic for understanding plantation establishment. *Canadian Journal of Forest Research*, 20, 375-390.
- Martínez, M., Tuya, L., Martínez, M., Pérez, A. y Cánovas, M. (2009). Coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista habanera de ciencias médicas La Habana*, 8 (2), 1-19.
- Meli, P. y Carrasco-Carballido, V. (2011). Restauración ecológica de riberas. Manual para la recuperación de la vegetación ribereña en arroyos de la Selva Lacandona. México: CONABIO.
- Méndez, M., Martínez, C., Cecon, E. y Guariguata, M. (2017). Planes actuales de restauración ecológica en Latinoamérica: Avances y omisiones. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 1-30.
- Minga, D. y Verdugo, A. (2016). *Árboles y arbustos de los ríos de Cuenca*. Cuenca, Ecuador: Imprenta Don Bosco.

- Mintegui, A. y Robredo, J. (1994). Caracterización de las cuencas hidrográficas, objeto de restauración hidrológico-forestal, mediante modelos de hidrológicos. *Revista Ingeniería del Agua*, 1 (2), 68-82.
- Mondragón, A. (2014). Usos de la correlación de Spearman en un estudio de intervención en fisioterapia. *Movimiento Científico*, 8 (1), 96-104.
- Montúfar, R. (2000). Araliaceae. En: R.Valencia, N. Pitman , S. León-Yané y P. Jorgensen (Eds.), *Libro rojo de la plantas endémicas del Ecuador 2000* (pp. 87 y 88). Quito, Ecuador: Publicaciones del Herbario QCA. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Mora, F. (2005). *Diagnóstico del rodal del Arrayán (Eugenia myrteloides) en la comunidad la Quinta, Parroquia Bilován, Provincia Bolívar* (tesis de pregrado). Universidad Estatal de Bolívar, Bolívar, Ecuador.
- Muñiz-Castro, M., Williams-Linera, G. y Benítez-Malvido, J. (2015), Restoring Montane Cloud Forest: Establishment of Three Fagaceae Species in the Old-fields of Central Veracruz, Mexico. *Restoration Ecology*, (23), 26-33.
- Muños, J. (2017). Regeneración Natural: Una revisión de los aspectos ecológicos en el bosque tropical de montaña del sur del Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 7(2), 139-143.
- Murcia, C. y Guariguata, M. (2014). *La restauración ecológica en Colombia: Tendencias, necesidades y oportunidades*. Documentos Ocasionales 107. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Murcia, C., Guariguata, M. y Montes, E. (2015). Generalidades del Monitoreo en la Restauración Ecológica. En M. Aguilar-Garavito y W. Ramírez (Eds.), *Monitoreo a procesos de Restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres* (pp. 18-26). Colombia: Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- McDonald, T., Gann, G., Jonson, J. y Dixon, K. (2016). *International standards for the practice of ecological restoration – including principles and key concepts*. Society for Ecological Restoration, Washington, D.C.: Little Gecko Media.
- Myers, N., Mittermeier, A., Mittermeier, G., Fonseca, G. y Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, (403), 853-858.

- Navarro, R., Del Campo, A. y Cortina, J. (2006). Factores que afectan al éxito de una repoblación y su relación con la calidad de la planta. En *Organicismo Autónomo Parques Nacionales*. (Ed.), *Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos estado actual de conocimiento* (pp. 31-41). Madrid, España: Sociedad Anónima de fotocomposición Talisio.
- Norden, N. (2014). Del porqué la regeneración natural es tan importante para la coexistencia de especies en los bosques tropicales. *Colombia Forestal*, 17(2), 247-261.
- Ortega, L. y Salgado, L. (2001). *Drenaje en suelos agrícolas*. Chile.
- Ortega, H. (2006). *Estudio del ataque de *Gretchena garai* Miler en Nogal (*Juglans neotropica* Diels) en plantación sola y asociada con cuatro especies forestales en dos sitios* (tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Ospino, J. y Ramos, A. (2017). *Identificación de áreas aptas para la reforestación del bosque seco tropical en Córdova-Colombia por medio de un sistema de información geográfico* (Tesis de posgrado). Universidad de Manizales, Colombia.
- Otavo, S. y Echeverría, C. (2017). Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques naturales en uno de los hotspot mundiales de biodiversidad. *Revista mexicana de Biodiversidad*, 88, 924-935.
- Palacio, C., Soto, A., Villa, B., Hernández, S., Trujillo, O., Rodríguez, R.,... García, M. (2016). Alternativas para la restauración ecológica de los bosques nublados de México: capitalizando la experiencia para un mayor impacto. Cuernavaca, México. En E. Ceccon y C. Martínez-Garza. (Ed.), *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas* (pp. 15-176). Cuernavaca, México.
- Palacios, W. (2011). *Árboles del Ecuador*. Gobierno Nacional de la República Programa Regional para la Gestión Social de Ecosistemas Forestales Andinos.
- Pequeño, M., Rodríguez, E., Jiménez, J., Aguirre, O., González, M., Sánchez y Molina, V. (2016). Criterios a considerar para desarrollar proyectos de

- restauración ecológica. En M. Pequeño y L. Sánchez (Eds.), *Instituciones de Educación Superior. La labor investigadora e innovadora en México* (pp.45-63). México: Science Associated Editors
- Ramos-Reyes, R., Sánchez-Hernández, R. y Gama-Campillo, L. (2016). Análisis de cambios de uso del suelo en el municipio costero de Comalcalco, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3 (8), 151-160.
- Reis, A., Bechara, F. y Tres, D. (2010). Nucleation in Tropical ecological restoration. *Scientia Agricola*, 67 (2), 244-250.
- Reis, A., Tres, D. y Scariot, E. (2007). Restauracao na Floresta Ombrófila Mista através da sucessao natural. *Pesquisa Florestal Brasileira*, (5), 67-73.
- Reis, A., Bechara, F., Bazzo, M., Koehntopp, N. y Lopes, L. (2003). Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessionais. *Naturaleza & Conservação*, 1 (1), 28-36.
- Renison, D., Cuyckens, G., Pacheco, S., Guman, G., Grau, R., Marcona, P., Robledo, G,...Hensen, I. (2013). Distribución y estado de conservación de las poblaciones de árboles y arbustos del género *Polylepis* (Rosaceae) en las montañas de Argentina. *Ecología Austral*. 23, 27-36
- Rey-Benayas, J. y Bullock, J. (2015). Vegetation restoration and other actions to enhance wildlife in European agricultural landscapes. En H. Pereira y L. Navarro (Ed.), *Rewilding European Landscape* (pp. 127-142). London, Inglaterra: Springer.
- Rodríguez-Echeverry, J., Echeverría, C., Oyarzún, C. y Morales, L. (2017). Spatial congruence between biodiversity and ecosystem services in a forest landscape in southern Chile: basis for conservation planning. *Revista Bosque*, 38 (3), 495-506.
- Rodríguez-Echeverry, J., Echeverría, C., Oyarzún, C. y Morales, L. (2018). Impact of anthropogenic land-use change on biodiversity and ecosystem services in the Chilean temperate forests. *Landscape Ecology*, 33, 439-453.
- Rodríguez-Echeverry, J., Echeverría, C., Nahuelhual, L. (2015). Impacts of anthropogenic land-use change on populations of the Endangered Patagonian cypress *Fitzroya cupressoides* in southern Chile: implications for its conservation. *Oryx*, 49, 1-6.

- Romero, A (2005). Propuesta metodológica para seleccionar especies pioneras leñosas con fines de restauración ecológica, dentro de la reserva biológica cachalú (Encino-Santander). *Colombia Forestal*, 9 (18), 52,59.
- Ruiz, V., Savé, R. y Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el paisaje terrestre Protegido Miraflor Moropotente Nicaragua, 1993-2011. *Ecosistemas*, 22 (3),117-123.
- Salamanca, B. y Camargo, G. (2000). *Protocolo distrital de restauración ecológica: Guía para la restauración de ecosistemas nativos en las áreas rurales de Santa Fe de Bogotá*. Santa Fe de Bogotá, Colombia: DAMA.
- Salazar, R. (2000). *Manejo de 100 especies forestales de américa Latina*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Salgado-Negrete, B. (2015). *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones*. Bogotá, Colombia: Alexander von Humboldt.
- Sánchez, J. (2013). *Flora nativa de usos múltiples valiosos para la restauración de la microcuenca de la Joya, QRO* (Tesis de postgrado). Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Sánchez, D., Pinilla, G. y Mancera J. (2015). Efectos del uso del suelo en las propiedades edáficas y la escorrentía superficial en una cuenca de la Orinoquia colombiana. *Colombia Forestal*, 18 (2), 255-272.
- Sarmiento, F. (2001). *Los bosques nublados del Ecuador*. Ecuador: InBIO
- Sarmiento, L., Llambí, L., Escalona, A. y Marquez, N. (2003). Vegetation patterns regeneration rates and divergence in an old-field succession of the high tropical Andes. *Plan Ecol*, 166, 145-156
- Seccon, E. y Pérez, D. (2016). *Más allá de la ecología de la restauración: perspectivas sociales en América Latina y el Caribe*. Buenos Aires, Argentina: Vázquez Mazzini
- Segura, G. Avella, A., Lombo, F., Velandia, N., Gómez, W., Camargo, M,...Salinas, J. (2016). *Identificación y Priorización de las Áreas para Reforestación Protectora sobre la Cuenca del río Bogotá*. Bogotá, Colombia: Fundación Natura.

- Society for Ecological Restoration. (1988-2018). *SER: A Means of Conserving Biodiversity and sustaining livelihoods*. Washington, USA. SER. Recuperado de: <http://www.ser.org/>
- Suárez, L. (1978). *Algunas especies aptas para la repoblación forestal en Cundinamarca*. Colombia: Secretaría de Agricultura y desarrollo rural.
- Suárez, D. (2008). Formación de un corredor de hábitat de un bosque montano alto en un mosaico de páramo en el norte del Ecuador. *Ecología Aplicada*, 7 (1 y 2), 9-17.
- Smith-Ramírez, C., González, M., Echeverría, C. y Lara, A. (2015). Estado actual de la Restauración ecológica en Chile, perspectivas y desafíos. *Anales Instituto Patagonia*, 43 (1), 11-21.
- Stadtmüller T. (1987). *Los bosques nublados en el trópico húmedo: una revisión bibliográfica*. Costa Rica: Universidad de las Naciones Unidas.
- Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA). (2017). *Registro Oficial Edición Especial 2*. (31 de marzo del 2003).
- Toledo, T. (2009). El Bosque de Neblina. *Biodiversitas*, (83), 1-6.
- Toro, E. y Roldan, I. (2018). Estado del arte, propagación y conservación de *Juglans neotropica* Diels; en zonas andinas. *Madera y Bosques*, 24 (1), 1-42.
- Trucios, R., Rivera, M., Delgado, G., Estrada, J. y Cerano, J. (2013). Análisis sobre el cambio del uso del suelo en dos escalas de trabajo. *Terra Latinoamericana*, 31, 339-346.
- Trujillo, A. (2017). *Evaluación del éxito de estrategias de restauración activa y pasiva del bosque mesófilo de montaña*. (Tesis de Maestría). Instituto de Ecología A.C., Veracruz, México.
- Trujillo, N. (2013). *Guía de reforestación. Tercera edición. Ilustrada, aumentada y corregida*. Bogotá Colombia: El Semillero.
- Tres, D. y Reis, A. (2007). Recuperación de áreas degradadas: la función de la nucleación. *En II Simposio Internacional Sobre Restauración Ecológica*, Cuba.

- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). (2015). Ficha Técnica de *Podocarpus macrostachys*. *Especies para restauración*. Recuperado de: <https://www.especiesrestauracion-uicn.org>
- Ugalde, L. (2001). *Conceptos básicos de dendrometría*. Costa Rica.
- Vanegas, E y Roldán, I. (2018). Estado del arte, propagación y conservación de *Juglans neotropica* Diels., en zonas andinas. *Madera y Bosques*, 24 (1), 1-15.
- Vargas, O. (2007). *Guía Metodológico para la Restauración Ecológica del Bosque Altoandino*. Colombia.
- Vargas, O. (2011). Restauración ecológica: Biodiversidad y Conservación. *Acta Biológica Colombiana*, 16 (2), 221-246.
- Vargas, O., Díaz, J., Reyes, S. y Gómez, P. (2012). *Guías Técnicas para la Restauración Ecológica de los Ecosistemas de Colombia*. Bogotá, Colombia: GRENUAL
- Vargas, W. (2002). *Guía ilustrada de las plantas de las montañas del Quindío y los andes centrales*. Manizales, Colombia: ASUEC
- Venegas-López, M. (2016). *Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias*. México: CONABIO.
- Vilchez, B., Robin, C., y Redonde, A. (2014). Fenología reproductiva de cinco especies forestales del Bosque Secundario Tropical. *KURÚ*, 1 (2), 1-10.
- Vidal, J. y Rojas, R. (2014). *Propagación de flora nativa; experiencias y relatos desde el sur de Chile*. Santiago de Chile: Instituto de ecología y biodiversidad.
- Villar, R., Ruiz-Robledo, J., Quero, J., Poorter, H., Valladares, F. y Maranon, T. (2008). Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En F. Valladares (Ed), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante (segunda edición)* (pp. 193-230). Madrid: EGRAF, S. A.
- Villarpando, D., Villarpando, P. y Villalobos, J. (2011). *Fichas botánicas de especies agroforestales nativas y naturalizadas aptas para tierras altoandinas*. La Paz, Bolivia: Care
- Villón, M. (2007). *Drenaje*. Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica

- Vizcaíno, M. (2017). *Determinación del impacto forestal del aliso (alnus acuminata HBK), asociado a cultivos de ciclo corto y sin fertilizantes, en la parroquia el Carmelo provincia del Carchi* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Williams-Linera, G., López-Barrera, F. y Bonilla-Moheno, M. (2015). Estableciendo la línea de bases para la restauración del bosque de niebla en un paisaje periurbano, *Madera y Bosques*, 21 (2), 89-101.
- Williams-Linera, G., Álvarez-Aquino, C., Muñiz-Castro, M. y Pedraza, R. (2015) Evaluación del éxito de la restauración del bosque mesófilo de montaña en la región de Xalapa, Veracruz. *Experiencias mexicanas en restauración de ecosistemas*. México: CRIM-CONABIO.
- Yance, R. (2015). *Influencia del bosque de Polylepis incana sobre la vegetación arbustiva y herbácea en Anchaqhuasi-Ayacucho* (Tesis Postgrado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Yarranton, G. y Morrison, R. (1974). Spatial dynamics of a primary succession: nucleation. *The Journal of Ecology*, 62 (2), 417-428.
- Yzarran, W. y López, F. (2011). *Manual de observaciones Fenológicas*. Perú: Senamhi.
- Zimmerman J., Pascarella J. y Aide T. (2000). Barriers to forest regeneration in an abandoned Pasture in Puerto Rico. *Restoration Ecology*, 4(8), 350-360.
- Zúñiga, M. (2017). Identificación de plantas nativas para la restauración ecológica de la sección urbana de la microcuenca del río Torres, San José, Costa Rica. En N. Aguirre (Presidencia), *Restauración del paisaje en Latinoamérica: Experiencias y perspectivas futuras*. Simposio llevado a cabo en el Primer Congreso Ecuatoriano de Restauración del Paisaje, Loja, Ecuador.

ANEXOS

Anexo 1. Reunión llevada a cabo con los actores clave para la selección de los sitios prioritarios.



Anexo 2. Verificación de la disponibilidad de plantas en el vivero de la Parroquia de Papallacta



Anexo 3. Trazado de las estrategias de nucleación en el terreno



Anexo 4. Hoyado y plantación



Anexo 5. Etiquetado de las plantas



Anexo 6. Registro de supervivencia



Anexo 7. Medición de altura total, longitud de ápice y diámetro basal



a) Altura Total



b) Longitud de ápice



c) Diámetro basal

Anexo 8. Ficha de campo

Fecha:	Sitio:	Núcleo:		MONITOREO:
COD	ALTURA TOTAL	LONGITUD ÁPICE		Observaciones
P1				
P2				
P3				
P4				
P5				
P6				
P7				
P8				
P9				
P10				
P11				
P12				
P13				
Nota:				