



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

PROPUESTA DE RESTAURACIÓN DEL ECOSISTEMA BOSQUE
NUBLADO A ESCALA LOCAL Y DE PAISAJE EN PAPALLACTA, EN
EL HOTSPOT DE CONSERVACIÓN MUNDIAL CAYAMBE-COCA,
ECUADOR

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

AUTORA: ANDREA ISABEL NOBOA MINDA

DIRECTOR: BIOL. JAMES RODRÍGUEZ Ph.D.

JUNIO, 2020



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

**CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ibarra, 19 junio del 2020

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: "PROPUESTA DE RESTAURACIÓN DEL ECOSISTEMA BOSQUE NUBLADO A ESCALA LOCAL Y DE PAISAJE EN PAPALLACTA, EN EL HOTSPOT DE CONSERVACIÓN MUNDIAL CAYAMBE-COCA, ECUADOR", de autoría de la señorita Andrea Isabel Noboa Minda estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES** el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que la autora o autores ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

Biol. James Rodríguez PhD.
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

FIRMA

MSc. Tania Oña
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc. Oscar Rosales E.
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Misión Institucional:

Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.

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

• **IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

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

| DATOS DE CONTACTO | |
|------------------------|--|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 1004823413 |
| NOMBRES Y APELLIDOS: | ANDREA ISABEL NOBOA MINDA |
| DIRECCIÓN: | CAÑAR Y 13 DE ABRIL, HUERTOS FAMILIARES - IBARRA |
| EMAIL: | andrea_noboa@outlook.com |
| TELEFONO FIJO Y MOVIL: | (2) 546 935 0989943136 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|---------------------------------|--|
| TÍTULO: | PROPUESTA DE RESTAURACIÓN DEL ECOSISTEMA BOSQUE NUBLADO A ESCALA LOCAL Y DE PAISAJE EN PAPALLACTA, EN EL HOTSPOT DE CONSERVACIÓN MUNDIAL CAYAMBE-COCA, ECUADOR |
| AUTOR: | ANDREA ISABEL NOBOA MINDA |
| FECHA: | 25 JUNIO 2020 |
| SOLO PARA TRABAJO DE TITULACIÓN | |
| PROGRAMA: | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA: | INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES |
| DIRECTOR: | BIOL. JAMES RODRÍGUEZ Ph.D. |

• **CONSTANCIAS**

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

Ibarra, a los 25 días del mes de junio de 2020.

EL AUTOR:



Andrea Isabel Noboa Minda

AGRADECIMIENTO

Mi sentimiento más profundo de gratitud a Dios y la vida, por darme la fuerza para luchar cada día y conseguir todos mis sueños. A mis padres y especialmente a mi madre y mis hermanos, el pilar de mi vida y mi motivación, jamás habría logrado nada sin ellos.

Mi eterno agradecimiento a quienes más que mi familia son mis amigos y mi soporte Mary, Xime, Sammir, Richard y Laura por todo su cariño, preocupación y apoyo a lo largo de mi vida.

A mi director de tesis Dr. James Rodríguez Ph.D. por ser mi guía y 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”. A mis queridos maestros Ing. Tania Oña e Ing. Oscar Rosales por sus asesorías y tutelas para desarrollo de esta investigación y su excelencia como docentes de la Universidad Técnica del Norte.

Agradezco infinitamente a quien fue mi compañero de vida estos años de formación profesional y personal, por su eterna paciencia, apoyo y amor, por ser mi ejemplo y ayudarme a crecer incluso a la distancia, Leonardo. Del mismo modo, a quienes me han acompañado y contribuyeron en este proceso mi querido Sammir y mis amigos Washintong y Brenda por su maravillosa ayuda en este trayecto.

Finalmente, a mis compañeros y amigos de SECOB, quienes me han brindado su apoyo y palabras de aliento y consejo.

Y, a Termas de Papallacta, el Parque Nacional Cayambe-Coca y la Universidad Técnica del Norte por el compromiso con el desarrollo de este proyecto.

Andrea Isabel Noboa Minda.

DEDICATORIA

La presente investigación y todo el trabajo que conllevó el éxito de la misma, está dedicada a mi madre ejemplo de lucha, constancia y amor infinito, por jamás dejar de creer en mí e inculcarme los mejores valores. A mis hermanos, quienes forjan mis sueños y son mi inspiración.

A mi querida familia Xime, Mary, Laura, Samm y Richard que son el complemento de mi vida y auguraron siempre los mejores deseos para mí, guardo su amistad y cariño sincero en mi corazón como un tesoro.

Con todo mi amor...

Andrea Isabel Noboa Minda.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| Contenido | Páginas |
|--|-----------|
| CAPÍTULO I | 1 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Revisión de Antecedentes | 1 |
| 1.2 Problema de investigación y justificación..... | 3 |
| 1.3 Objetivos | 7 |
| 1.3.1 <i>Objetivo general</i> | 7 |
| 1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> | 7 |
| 1.4 Pregunta directriz de la investigación | 8 |
| 1.5 Hipótesis..... | 8 |
| CAPÍTULO II | 9 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA | 9 |
| 2.1 Marco teórico referencial | 9 |
| - Hotspot | 9 |
| - Áreas protegidas..... | 9 |
| - Bosque nublado..... | 9 |
| - Integridad ecológica | 10 |
| - Paisaje | 10 |
| - Patrones espaciales del paisaje..... | 10 |
| - Disturbios ambientales | 11 |
| - Restauración ecológica..... | 11 |
| - Métricas del paisaje..... | 13 |
| 2.2 Marco legal..... | 14 |
| CAPÍTULO III | 17 |
| 3. METODOLOGÍA | 17 |
| 3.1 Descripción del área de estudio..... | 17 |
| 3.2 Métodos..... | 20 |
| 3.2.1 Evaluación de la efectividad de la restauración del Bosque nublado a nivel de especie | 20 |
| 3.2.1.1 Evaluación de crecimiento | 21 |
| 3.2.1.2 Evaluación de supervivencia..... | 23 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2.2 Identificar sitios potenciales de restauración a escala local y de paisaje en el Bosque nublado Papallacta mediante métricas de contraste de borde y conectividad | 24 |
| 3.2.2.1 Métrica de Contraste de borde | 25 |
| 3.2.2.2 Métrica de Conectividad | 27 |
| 3.2.2.3 Determinación de nodos de importancia..... | 28 |
| 3.2.3 Elaboración de un programa de restauración a escala local y paisaje para el Bosque nublado en Papallacta | 31 |
| 3.3 Materiales y equipos | 33 |
| CAPÍTULO IV | 34 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 34 |
| 4.1 Evaluación de la efectividad de la restauración del Bosque nublado a nivel de especie..... | 34 |
| 4.1.1 Evaluación de crecimiento | 34 |
| 4.1.2 Evaluación de supervivencia..... | 44 |
| 4.2 Identificación de sitios potenciales de restauración a escala local y de paisaje en el Bosque nublado Papallacta mediante métricas de contraste de borde y conectividad | 46 |
| 4.2.1 Métrica de Contraste de Borde..... | 47 |
| 4.2.2 Métrica de Conectividad | 49 |
| 4.2.3 Determinación de nodos de importancia para la conectividad..... | 55 |
| 4.3 Elaboración de un programa de restauración a escala local y paisaje para el Bosque nublado en Papallacta | 62 |
| 4.3.1 Introducción del Programa de Restauración | 62 |
| 4.3.2 Antecedentes | 64 |
| 4.3.2.1 <i>Antecedentes históricos del sitio</i> | 64 |
| 4.3.2.2 <i>Problemática actual en área de estudio</i> | 65 |
| 4.3.3 Metas del Programa de Restauración..... | 66 |
| 4.3.4. Objetivos del Programa de Restauración | 66 |
| 4.3.4.1 <i>Objetivo general del Programa de Restauración</i> | 66 |
| 4.3.4.2 <i>Objetivos específicos del Programa de Restauración</i> | 66 |
| 4.3.5 Área de estudio del Programa de Restauración..... | 67 |

| | |
|--|--------------------------------------|
| 4.3.5.1 Localización | 67 |
| 4.3.5.2 Límites | 68 |
| 4.3.5.3 Características físico-geográficas | 68 |
| 4.3.5.4 Características biológicas | 70 |
| 4.3.5.5 Atractivos turísticos | 70 |
| 4.3.6 Justificación..... | 71 |
| 4.3.6.1 Efectividad de especies idóneas | 73 |
| 4.3.6.2 Priorización de sitios potenciales de restauración | 77 |
| 4.3.6.3 Eficacia del ensayos y tratamientos | 79 |
| 4.3.6.4 Diseño de corredores ecológicos | 83 |
| 4.3.6.5 Propuesta de pilotos de monitoreo | 85 |
| 4.3.7 Plan de Actividades Adicionales..... | 89 |
| 4.3.7.1 Manejo de factores limitantes o estresantes | 89 |
| 4.3.7.2 Implementación de viveros comunitarios..... | 89 |
| 4.3.7.3 Implementación de prácticas agroecológicas..... | 92 |
| 4.3.8 Beneficios y resultados esperados..... | 94 |
| 4.3.9 Difusión..... | 95 |
| 4.3.10 Responsables y Cronograma | 96 |
| CAPÍTULO V..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 97 |
| 5.1 Conclusiones | 97 |
| 5.2 Recomendaciones..... | 98 |
| REFERENCIAS | 100 |
| ANEXOS | 116 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Coordenadas de sitios de muestreo del Bosque nublado Papallacta, Proyección UTM, Zona 17 Sur..... | 19 |
| Tabla 2. Descripción general de la ficha de campo para registro de supervivencia y crecimiento de especies..... | 21 |
| Tabla 3. Criterios y clases empleados para la reclasificación de tipos de uso de suelo y cobertura vegetal del Bosque nublado de Papallacta, de acuerdo al Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental..... | 24 |
| Tabla 4. Densidad de borde aplicada al ecosistema Bosque nublado en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca | 26 |
| Tabla 5. Criterios y valoraciones atribuidos a variables de limitación de desplazamiento de especies para mapa de fricción de conectividad ecológica del Bosque nublado en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca..... | 30 |
| Tabla 6. Contenido del programa de restauración a escala local y de paisaje | 32 |
| Tabla 7. Materiales e insumos..... | 33 |
| Tabla 8. Rangos de distribución de pruebas de normalidad..... | 41 |
| Tabla 9. Coeficiente de correlación de Pearson y niveles de significancia para siete especies experimentales con distribución de crecimiento normal en Papallacta | 42 |
| Tabla 10. Coeficiente de correlación de Spearman y niveles de significancia para <i>Cedrela montana</i> en Papallacta..... | 43 |
| Tabla 11. Valores del índice de ECON para 107 parches naturales de ecosistema Bosque Nublado de Papallacta..... | 47 |
| Tabla 12. Número de ensayos de restauración a implementar por cada corredor ecológico para la restauración del ecosistema Bosque nublado..... | 61 |
| Tabla 13. Lagunas destinadas al turismo en zona de Papallacta..... | 71 |
| Tabla 14. Valores de costo promedio de plantas por individuo en viveros del Ecuador | 80 |
| Tabla 15. Número de ensayos de restauración a implementar por cada corredor ecológico para la restauración del hotspot de conservación mundial dentro del Parque Nacional Cayambe-Coca..... | 84 |

| | |
|---|----|
| Tabla 16. Descripción general de la ficha de campo para registro de supervivencia y crecimiento de especies..... | 86 |
| Tabla 17. Indicadores socioeconómicos para monitoreo de efectividad de restauración en Bosque nublado de Papallacta, en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca..... | 88 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación área de estudio en la parroquia Papallacta dentro del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca. | 17 |
| Figura 2. Ubicación área de estudio a (a) escala de paisaje y (b) escala local, en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca. | 18 |
| Figura 3. Localización de sitios experimentales en el área de estudio a escala local en Papapllacta..... | 19 |
| Figura 4. Crecimiento mensual de especies (a) <i>Alnus acuminata</i> , (b) <i>Morella pubescens</i> , (c) <i>Podocarpus oleifoliu</i> y (d) <i>Polylepis incana</i> , en Papallacta..... | 35 |
| Figura 5. Crecimiento mensual de especies (a) <i>Cedrela montana</i> y (b) <i>Juglans neotropica</i> , en Papallacta. | 37 |
| Figura 6. Crecimiento mensual de especies (a) <i>Myrcianthes halli</i> y (b) <i>Oreopanax ecuadorensis</i> , en Papallacta. | 39 |
| Figura 7. Valores según Incremento Medio Anual para altura total de ocho especies vegetales en Papallacta. | 40 |
| Figura 8. Valores según Incremento Medio Anual para diámetro basal de ocho especies vegetales en Papallacta. | 40 |
| Figura 9. Número de individuos por especie plantados para restauración versus número de individuos por especie sobrevivientes en 12 meses de monitoreo en Papallacta. | 44 |
| Figura 10. Probabilidad de supervivencia para las especies (1) <i>Alnus acuminata</i> , (2) <i>Cedrela montana</i> , (3) <i>Juglans neotropica</i> , (4) <i>Morella pubescens</i> , (5) <i>Myrcianthes halli</i> , (6) <i>Oreopanax ecuadorensis</i> , (7) <i>Podocarpus oleifolius</i> y (8) <i>Polylepis incana</i> | 45 |
| Figura 11. Ecosistemas de acuerdo al tipo y uso de cobertura vegetal dentro del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca. | 46 |
| Figura 12. Matriz de confusión clasificación de ecosistemas hotspot de conservación mundial Papallacta. | 47 |
| Figura 13. Índice de Contraste de Borde para parches naturales del ecosistema Bosque Nublado. | 48 |
| Figura 14. Porcentajes de conectividad interna (dIICintra) de 30 parches de hábitat del ecosistema Bosque nublado. | 50 |

| | |
|--|----|
| Figura 15. Porcentajes de flujo de dispersión (dIICflux) de treinta parches del ecosistema Bosque nublado. | 51 |
| Figura 16. Porcentajes de fracción de contribución a la conectividad (dIICconnector) de treinta parches del ecosistema Bosque nublado. | 52 |
| Figura 17. Porcentaje de importancia relativa (dIIC) para 30 parches naturales del ecosistema Bosque nublado. | 53 |
| Figura 18. Priorización de nodos de importancia para la restauración ecológica de ecosistema Bosque nublado de acuerdo a valores obtenidos en índice de Contraste de Borde (ECON) e índice Integral de Conectividad (IIC). | 56 |
| Figura 19. Corredores ecológicos para la conectividad de 22 remanentes de hábitat natural del ecosistema Bosque nublado en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca. | 59 |
| Figura 20. Ubicación Área de estudio en el Parque Nacional Cayambe-Coca, Papallacta. | 67 |
| Figura 21. Ecosistemas de acuerdo al tipo y uso de cobertura vegetal dentro del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca. | 72 |
| Figura 22. Especie <i>Alnus acuminata</i> idónea para ensayos de restauración en el Bosque nublado de Papallacta. | 74 |
| Figura 23. Especie <i>Morella pubescens</i> idónea para ensayos de restauración en el Bosque nublado de Papallacta. | 75 |
| Figura 24. Especie <i>Polylepis incana</i> idónea para ensayos de restauración en el Bosque nublado de Papallacta. | 76 |
| Figura 25. Especie <i>Oreopanax ecuadorensis</i> idónea para ensayos de restauración en el Bosque nublado de Papallacta. | 77 |
| Figura 26. Nodos de importancia de acuerdo con el Índice Integral de Conectividad (IIC) para conectividad de remanentes del ecosistema Bosque nublado aislados por áreas de pasto y cultivo dentro del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca. | 78 |
| Figura 27. Corredores ecológicos para la conectividad de 22 remanentes de hábitat natural del ecosistema Bosque nublado en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca. | 79 |

| | |
|---|----|
| Figura 28. Distancias (metros) y patrones de distribución entre planas dentro de sitio de restauración..... | 81 |
| Figura 29. Distribución de acuerdo a cada especie en sitios de restauración. | 83 |
| Figura 30. Transformación de áreas de Pasto y Cultivo para conectividad de remanentes..... | 83 |
| Figura 31. Método de producción de plantas en fundas ordenadas en bancales para vivero..... | 92 |
| Figura 32. Práctica agroecológica de asociación de cultivos en Papallacta..... | 93 |
| Figura 33. Integración de corredores ecológicos y zonas de desarrollo económico y social dentro de área de estudio del Programa de Restauración Ecológica en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca. | 95 |

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

“PROPUESTA DE RESTAURACIÓN DEL ECOSISTEMA BOSQUE
NUBLADO A ESCALA LOCAL Y DE PAISAJE EN PAPALLACTA, EN
EL HOTSPOT DE CONSERVACIÓN MUNDIAL CAYAMBE-COCA,
ECUADOR”

Andrea Isabel Noboa Minda.

RESUMEN

La presente investigación evaluó la restauración a escala local y de paisaje en el Bosque nublado de Papallacta, con el fin de elaborar un programa de restauración que permita implementar estrategias de restauración ecológica dentro de las 7717.42 hectáreas de ecosistema natural intervenido debido al cambio de uso de suelo, a causa del pastoreo y agricultura extensiva. Para ello, se examinó la efectividad de los ensayos de restauración a nivel de especie, mediante el monitoreo, con una frecuencia mensual durante un año, del crecimiento y supervivencia de 312 individuos de ocho especies vegetales, distribuidas en estrategias de nucleación Monoespecíficas, Asociadas y Mixtas. Los datos de crecimiento fueron analizados por especie a través de regresiones lineales y polinómicas, cálculo del Incremento Medio Anual (IMA), correlación de Pearson y Spearman, la supervivencia de especies se determinó a través de la función de Kaplan Meier. Los sitios potenciales de restauración se establecieron mediante la Métrica de Contraste de Borde (ECON) y Conectividad a través del Índice Integral de Conectividad (IIC) y sus fracciones dIIC, dIICintra, dIICflux y dIICconnector. Los resultados obtenidos reportaron que, *Alnus acuminata*, *Morella pubescens*, *Polylepis incana* y *Oreopanax ecuadorensis* son especies óptimas para la restauración dentro de 22 remanentes naturales mediante 25 corredores ecológicos que unen parches degradados del ecosistema Bosque nublado.

Palabras clave: Conectividad, contraste de borde, métricas de paisaje, restauración, supervivencia.

ABSTRACT

In this investigation, the restoration at local and landscape scale in the Papallacta cloud forest was evaluated, with the aim of elaborating a restoration program which allows to implement ecological restoration strategies within the 7717.42 hectares of intervened natural ecosystem due to the change of land use, caused by grazing and extensive agriculture. To do so, the effectiveness of the restoration trials at the species level was examined, by monthly monitoring throughout a year, the growth and survival of 312 plants of eight species, distributed in Monospecific, Associated and Mixed nucleation strategies. Growth data were analyzed by species through linear and polynomial regressions, calculation of the Annual Average Increase (AAI), Pearson and Spearman correlation and Clúster analysis. The survival of species was determined through the Kaplan Meier function. Potential restoration sites were established through the Edge Contrast Metrics (ECON) and Connectivity using the Integral Connectivity Index (ICI) and its dIIC, dIICintra, dIICflux and dIICconnector fractions. The derived results reported that, *Alnus acuminata*, *Morella pubescens*, *Polylepis incana* and *Oreopanax ecuadorensis* are optimal species for the restoration of 22 natural remnants through 25 ecological corridors that join degraded patches of the Cloud Forest ecosystem.

Key words: Connectivity, edge contrast, landscape metrics, restoration, survival.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión de Antecedentes

El planeta Tierra es una gran esfera azul desde el espacio, comprendida por 71% de agua, de la cual únicamente el 2.5% es aprovechable por los seres vivos (Gleick, 2000) y el 29% restante comprende a la superficie terrestre, de éste, sólo el 31% representa al área boscosa mundial (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2010). No obstante, existe un nexo sumamente fuerte entre el ecosistema boscoso y el aprovisionamiento de agua, ya que contribuye a la regulación y a la mejora de la calidad hídrica (Echeverría, 2015). Este nexo, previene ciclos de inundación y sequía, estabiliza el suelo, regula el clima, proporciona alimento, contrarresta y mitiga el cambio climático y sus efectos, de tal forma que es indispensable la conservación de la cobertura forestal (Manson, 2004).

Desde esta perspectiva, Granados, Serrano y García (2014), evaluaron 29 remanentes de bosque fragmentado mediante el análisis del efecto de borde a escala de paisaje en bosques templados de México, donde se diferenciaron tres áreas dentro de un fragmento y se determinó que, el borde próximo a disturbios o perturbaciones, presenta menor calidad ecológica con porcentajes mínimos de cobertura forestal, el área núcleo presenta menor composición de especies sin embargo, estas por lo general son endémicas y, entre estas áreas se encuentra la zona de transición que contiene la asociación de especies del exterior e interior.

Otro estudio similar, es el realizado por Echeverría, Gática y Fuentes (2013), en el que efectuaron la restauración ecológica en la Reserva Nacional de Nonguen al Sur de Chile, aplicando métricas de contraste de borde como medio para priorizar sitios potenciales para la restauración y conocer el grado de aislamiento y pérdida de conectividad entre parches de bosque natural, tomando en cuenta los atributos

ecológicos que diferencian y determinan las especies propias de cada área dentro cada fragmento o parche.

Hernández et al. (2015), evaluaron la dinámica del paisaje de la región semiárida de la zona mediterránea de Chile y su efecto sobre la conectividad de parches de bosque natural durante un período de cuatro décadas (1975-2011) a través de indicadores de conectividad y, el cálculo del Índice de Área Conectada Equivalente (ECA) y la distancia de dispersión de semillas concluyendo que, gracias al abandono de tierras agrícolas y la conservación de los parches de bosque es posible la regeneración natural que facilita la dinámica de la sucesión de plantas hacia bosques secundarios.

En este contexto, Colorado, Vásquez y Mazo (2017), realizaron un modelo de conectividad ecológica de 24 fragmentos de bosque Andino en Santa Elena, Medellín-Colombia tomando en cuenta áreas con tamaño mayor a 5 hectáreas para realizar una matriz de fricción de desplazamiento y finalmente diseñar una red potencial a través de 31 corredores ecológicos de 100 metros, con la finalidad de promover la conservación de hábitats y la conectividad de áreas naturales cercanas a grandes urbes.

En Ecuador, Suárez (2008), determinó la conectividad entre parches de bosque montano alto en un mosaico de páramo dentro de la zona de amortiguamiento de la Reserva Ecológica El Ángel, mediante el cálculo del Índice de Fragmentación, que evalúa e identifica los sitios susceptibles a la fragmentación mediante la relación perímetro del paisaje sobre área de bosque o longitud de borde de área sobre área boscosa actual, con el objetivo de formar un corredor de hábitat natural que conecte los remanentes de bosque y permita la sucesión natural de las especies.

Asimismo, identificar y caracterizar especies claves permitió que, Cantos (2014), elaborara pautas de acciones e iniciativas de restauración ecológica orientadas a la conservación del bosque nativo seco de la Comuna “El Pital” en la Zona de

Amortiguamiento del Parque Nacional Machalilla, monitoreando 28 áreas de muestreo y realizando análisis multivariado mediante el cual estableció las relaciones entre las variables ambientales y los disturbios en la composición estructural y específica del bosque nativo.

La propagación y la reforestación utilizando especies nativas, son herramientas primordiales para garantizar la restauración de ecosistemas degradados, como lo reportan Aguirre, Günter y Stimm (2007), en el estudio desarrollado en las reservas de la Estación Científica San Francisco, El Bosque y Angashcola, donde colectaron más de 50000 semillas y 3000 estacas de especies forestales, con el objeto de mejorar y garantizar la propagación de las especies del bosque montano en el Sur del Ecuador.

Sin embargo, la restauración ecológica natural requiere de mucho tiempo y atención, especialmente en el ecosistema páramo (Morales y Estévez, 2006) por lo cual en el Ecuador se implementó el proyecto “Restauración de áreas degradadas de páramo a pequeña escala y diseño de un Plan piloto de manejo adaptativo para zonas de amortiguamiento dentro de las microcuencas Antisana y Pita en áreas de aporte a los sistemas de agua potable del Distrito Metropolitano de Quito”. Basados en él, Aguirre, Torres y Velasco (2013), elaboraron la Guía para la Restauración Ecológica en los Páramos del Antisana, mediante el cual presentan los lineamientos básicos para iniciar la restauración a largo plazo, tomando en cuenta: los factores, estrategias y técnicas a considerar y el proceso para la elaboración de un plan de restauración de páramos, entre otros ecosistemas.

1.2 Problema de investigación y justificación

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2016), menciona que, la pérdida del ecosistema boscoso en el mundo ha alcanzado 129 millones de hectáreas desde el año 1990 hasta 2015, a causa de actividades antrópicas relacionadas con el desarrollo económico como el aprovechamiento agropecuario y maderero, lo que ha provocado el deterioro y

pérdida de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Velásquez, 2015). Tal es el caso que, en los países tropicales la pérdida del ecosistema boscoso ha alcanzado siete millones de hectáreas en el período 2000-2010, alterando la integridad ecológica de estos paisajes puesto que, tierras forestales se han convertido en terrenos destinados prioritariamente a producción agropecuaria (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2016).

Por esta razón, los efectos que tiene el cambio de uso de suelo sobre los bosques van mucho más allá de la deforestación, degradando y fragmentando los ecosistemas forestales (Hernández, Rojas y Sánchez, 2013) de tal manera que, se genera desertificación, colmatación de suelos, afectación a la integridad ecológica, pérdida de las interacciones ecosistémicas, incremento de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera e incluso la pérdida de valores culturales y estéticos dentro del paisaje (Ćirić, Manojlović, Belić, Nešić y Šeremešić, 2012). Es así que, la reducción de los recursos forestales repercute directamente en la pérdida de hábitats y especies nativas (López et al., 2015).

Para Burel y Baudry (2002), los ecosistemas alterados y fragmentados presentan diferencias muy marcadas entre las características de los hábitats del interior y los hábitats más externos que se generan en el borde, también conocidos como ecotonos o áreas de borde. Los cambios en los atributos ecológicos de estos hábitats se dan por condiciones micro-climáticas, distribución y disponibilidad de recursos naturales, a causa del contacto que tiene el ecotono con la matriz circundante, que por lo general es una zona con disturbio permanente (Hilty, Lidicker y Merenlender, 2006; Montenegro y Vargas, 2008). De manera que, se ve afectada la conectividad entre los fragmentos o parches de un paisaje (Echeverría, Gática y Fuentes, 2013) limitando las conexiones y flujos de materia, energía y organismos entre ecosistemas (Imbernon, Villacorta, Zelaya y Valle, 2005).

Uno de los ecosistemas en Latinoamérica que más ha sufrido la intervención del ser humano es el Bosque nublado (García, Parra y Mena, 2014) a causa del mal uso de la cobertura del suelo, ya que al encontrarse en superficies de mayor pendiente o en laderas a manera de remanentes de bosque son ecosistemas utilizados para actividades agrícolas y ganaderas (Suárez, 2008). Esta degradación del paisaje altera los patrones físicos, fisiológicos y de sincronía de las especies (Bach y Gradstein, 2007).

De acuerdo a lo anterior, en el Ecuador el Parque Nacional Cayambe-Coca considerada como el área que alberga mayor diversidad de flora y fauna silvestres del país, principalmente por su elevada representatividad de ecosistemas (Ministerio del Ambiente, 2008; Aldas y Arcos, 2011), uno de ellos, el Bosque nublado en la zona de Papallacta, que ha alcanzado niveles muy altos de perturbación, a causa del cambio de uso de suelo ocasionados por el pastoreo intensivo, la expansión agrícola, la introducción de especies y el aprovechamiento maderero (Cumba et al., 2008). Los efectos que generan estas actividades inciden directamente sobre el ecosistema, evidenciándose pérdida del ecosistema boscoso, colmatación de los suelos, deterioro de la biodiversidad y servicios ecosistémicos, reducción de la calidad de los ecosistemas, alteración de la integridad ecológica del paisaje y la pérdida de las interacciones ecosistémicas (Bendix y Rafiqpoor, 2014).

Según Sánchez et al. (2005), la restauración ecológica es una respuesta para reestablecer, recuperar y reparar las dinámicas ecosistémicas cuando la sucesión o regeneración natural no es posible o necesita de más tiempo. De tal forma que, la restauración ecológica es esencial para la conservación de ecosistemas alterados (Brown y Lugo, 1994). Por esta razón, se ha implementado programas de restauración de interés mundial con el fin de mejorar la sostenibilidad ecológica e incrementar servicios ecosistémicos (Gática, Echeverría y Nelson, 2017), tomando en cuenta que, la restauración ecológica puede darse a diferentes niveles de organización, que van desde poblaciones de especies a paisaje y distintas

extensiones espaciales o escalas, que varían dependiendo del régimen de disturbio y pueden ser a escala local, regional o de paisaje (Vargas, 2007).

Es así que, para la restauración a escala local y nivel de especie o de comunidad determinar las especies claves es primordial, ya que garantizan la sucesión natural a través de la adaptación y recreación del hábitat de origen (Vargas, 2011). A nivel de ecosistema, el objetivo radica en recuperar los atributos espaciales del ecosistema mediante la integración de procesos naturales (Herrick, Schuman y Rango, 2006). Mientras que, la restauración a escala de paisaje implica la recuperación de funciones ecosistémicas donde sea posible la conectividad entre parches o espacios mediante la plantación de especies nativas o la translocación de plántulas (Ehrenfeld, 2000).

Bajo estos conceptos, para Bennet (2003), la alternativa más factible para recuperar el ecosistema boscoso es la conectividad entre los parches mediante corredores biológicos, con la finalidad de ampliar la dispersión de semillas por medio de la fauna. Cabe destacar que, para garantizar la efectividad de la conectividad la restauración debe aplicarse a escala local (Vargas, 2011); de esta manera se asegura el porcentaje de eficacia de la repoblación entre dos hábitats que poseen las mismas características (Abouhamad, Rojas, Méndez, Salazar y Sálmerón, 2016).

Ante este panorama, es necesario tener conciencia del rol que juega la vegetación dentro de los ecosistemas, esencialmente el Bosque nublado ya que, al encontrarse ubicado en la zona de transición entre el páramo y las selvas de las tierras bajas (Hansen y Di Castri, 1992) permite la formación de microclimas y contribuye al incremento de la riqueza de la zona, influyendo en las condiciones de los dos ecosistemas (Brown y Kappelle, 2001). Desde esta perspectiva, los bosques nublados son considerados elementos paisajísticos móviles que varían como respuesta natural a los cambios por actividades antrópicas como el calentamiento global (Yáñez, 2009).

En efecto, ya que el Bosque nublado puede llegar a desaparecer y, por ende, las especies que habitan en él, pues están sujetas a las variaciones de temperatura y las transformaciones geológicas (Yáñez, 2009) y tomando en consideración lo poco que se ha hecho en cuanto a restauración ecológica de Bosques nublados en el Ecuador (Bush, Restrepo y Collins, 2014). La presente investigación forma parte del macro 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 es una alternativa sostenible que fomenta la integridad ecológica, permite recuperar la diversidad funcional del ecosistema y la dinámica de los procesos ecológicos mediante la recuperación de la diversidad biológica, con el fin de implementar un programa de restauración ecológica a escala local y paisaje en el Bosque nublado Papallacta, a través de la evaluación de la efectividad de ensayos de restauración y la priorización de sitios potenciales para garantizar la conectividad y recuperación del paisaje natural, cumpliendo con el Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida 2017-2021, el cual menciona en uno de sus objetivos “garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones que se fundamenta en el desarrollo sostenible para alcanzar el Buen Vivir” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - SENPLADES, 2017).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la restauración a escala local y de paisaje con el fin de elaborar un programa de restauración para el Bosque nublado en Papallacta, área prioritaria de conservación mundial Cayambe-Coca, Ecuador.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la efectividad de los ensayos de restauración del Bosque nublado a nivel de especie.

- Identificar sitios potenciales de restauración a escala local y de paisaje en el Bosque nublado Papallacta mediante métricas de contraste de borde y conectividad.
- Elaborar un programa de restauración a escala local y paisaje para el Bosque nublado en Papallacta.

1.4 Pregunta directriz de la investigación

¿Cuáles especies y sitios potenciales de restauración a escala local y de paisaje son clave para realizar un programa de restauración del Bosque nublado en Papallacta, Cayambe-Coca, Ecuador?

1.5 Hipótesis

Las especies efectivas y los sitios potenciales de restauración a escala local y de paisaje, son clave para realizar un programa de restauración ecológica del Bosque nublado Papallacta, área prioritaria de conservación mundial Cayambe-Coca, Ecuador.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco teórico referencial

A continuación, se presentan una serie de términos cuyas definiciones y conceptos se deben tener en consideración en esta investigación:

- **Hotspot:** Según Myers, Mittermeir, Mittermeier, Fonseca y Kent (2000), constituyen territorios de refugio, salvaguardados de los ciclos glaciares. Son áreas naturales comprendidas por altos niveles de especies, endemismo, ecosistemas, hábitats (Prendergast Quinn, Lawton, Evesham y Gibbons, 1993; Reid, 1998) y riqueza taxonómica extrema (Gaston y Williams, 1996). De manera que, son territorios clave para la persistencia a largo plazo de la biodiversidad (Sauquet et al., 2009).

- **Áreas protegidas:** son superficies de tierra, mar o mixtas con una superficie mínima de 10 000 ha, cuyo uso especialmente está ligado a la protección y mantenimiento de la diversidad biológica, la conservación de los recursos naturales y otros asociados como los recursos culturales (International Union for Conservation of Nature, 1998). De modo que, Dudley (2008), asegura que estos espacios geográficos deben estar claramente definidos, reconocidos y gestionados, mediante medios legales u otros tipos de medios eficaces que garanticen la conservación a largo plazo de la naturaleza, sus servicios ecosistémicos y valores culturales asociados.

- **Bosque nublado:** formación vegetal montañosa característica de la zona Andina (Yáñez, 2009). Según Ataroff (2001), son unidades ecológicas de montaña tropical dominada por árboles y fuertemente afectada por la ocurrencia de nubes bajas y/o neblinas. Se encuentran en la zona de condensación de nubes orográficas, lo cual determina sus características

ecológicas más relevantes, como altas precipitaciones, alta humedad y baja radiación (Ataroff, 2000).

- **Integridad ecológica:** facultad que tienen los componentes bióticos y abióticos que conforman un ecosistema para integrarse por medio de relaciones inter e intra específicas, cuyos atributos ecológicos naturales permiten la adaptabilidad y resiliencia ante perturbaciones (Sistema Nacional de Áreas de Conservación de Costa Rica - SINAC, 2016).

Karr (1991), menciona que son sistemas biofísicos compuestos por especies y organizaciones funcionales que interactúan dentro de los ecosistemas naturales, cuyo objeto es proveer criterios para evaluar los ecosistemas (Karr, 2000), considerados como sistemas autónomos y con capacidad de regulación, que proveen un continuo flujo de bienes y servicios y mantiene la capacidad de responder a futuras necesidades (Vélez y Gómez, 2008).

- **Paisaje:** unidades físicas, ecológicas y geográficas compuesta por un mosaico heterogéneo donde interactúan e integran ecosistemas, especies, organismos, patrones y procesos tanto naturales como antrópicos (Naveh, 1988; Armenteras y Vargas, 2016), se repiten de forma similar en el espacio en toda su extensión (Forman y Godron, 1986) y exhiben cambios en el tiempo (Forman, 1995).
- **Patrones espaciales del paisaje** También denominados atributos ecológicos (Sistema Nacional de Áreas de Conservación de Costa Rica - SINAC, 2016; Gática, Echeverría y Nelson, 2017), hacen referencia a la función, configuración y elementos que componen el paisaje, interactuando entre sí y generando procesos ecológicos naturales (Turner, Gardner y Neill, 2001).
 - o **Composición:** hace referencia a las variables de diversidad y abundancia (Noss 1990), tales como riqueza, similitud, dominancia e igualdad (Noss, 1990; Ruíz y Mitchell, 2005; Wortley, Hero y Howes, 2013).

- **Estructura:** es la organización de los atributos o características físicas de los elementos dentro del paisaje (Franklin et al., 1981) como cambios en la vegetación, altura, diámetro, peso, cobertura vegetal, dosel (Noss, 1990; Ruíz y Mitchell, 2005; Wortley, Hero y Howes, 2013)
- **Función:** se refiere a la ecológica de las especies y procesos evolutivos, permitiendo la resiliencia del ecosistema (Gática, Echeverría y Nelson, 2017), comprendido por indicadores que permiten evaluar y medir los procesos y funciones de los ecosistemas como parámetros de pH, nutrientes y bioindicadores de cadenas tróficas (Noss, 1990; Ruíz y Mitchell, 2005; Wortley, Hero y Howes, 2013).
- **Disturbios ambientales:** evento discreto en el tiempo que altera la estructura de un ecosistema, comunidad o población, ocasionando cambios en la distribución de los recursos, la disponibilidad de sustratos y/o las características del ambiente físico (Pickett y White, 1985) conformando diferentes tipos de mosaicos dentro de un mismo paisaje debido a la heterogeneidad que genera cambios espaciales aprovechados por especies invasoras (Armenteras y Vargas, 2016). Los disturbios afectan la dinámica de los ecosistemas en todos los niveles de organización, desde individuos, poblaciones, comunidades, ecosistemas y paisajes (Pickett y White, 1985)
 - **Fragmentación:** proceso dinámico por el cual un determinado hábitat va quedando reducido a fragmentos o islas de menor tamaño, más o menos conectadas entre sí en una matriz de hábitats diferentes al original (Forman, 1995) puede generarse por fenómenos naturales como erupciones volcánicas, deslizamientos de suelo, terremotos, inundaciones, entre otras (Ramos, 2006).
- **Restauración ecológica:** proceso de restablecimiento de un ecosistema degradado, dañado o destruido a una condición similar al ecosistema inicial

respecto a su composición, estructura y funcionamiento (Society for Ecological Restoration International, 2004; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2015), incluye la recuperación de la biodiversidad asociada a los ecosistemas y los múltiples servicios que estos proveen a la humanidad (Murcia, Guariguata, Peralvo y Gálmez, 2017). La restauración ecológica actualmente es el instrumento fundamental para revertir la degradación de los sistemas naturales, recuperar la biodiversidad y los servicios ambientales, combatir los efectos negativos del cambio climático y complementar estrategias de manejo del paisaje para la sostenibilidad de la vida en la tierra (Aronson, Milton y Blignaut, 2007; Clewell y Aronson 2013). Adicionalmente, Nellemann y Corcoran (2010), mencionan que la restauración también es una actividad que genera beneficios sociales y económicos para la humanidad.

- **Restauración ecológica a escala local:** proceso de adaptación y recreación del hábitat de origen, realizado a nivel de comunidad o especies dentro de un parche de hábitat natural para garantizar la sucesión natural de las especies (Vargas, 2011).
- **Restauración ecológica a escala de paisaje:** implica la recuperación de funciones ecosistémicas donde sea posible la conectividad entre parches o espacios mediante la plantación de especies nativas o la translocación de plántulas (Ehrenfeld, 2000).
- **Sucesión ecológica:** es el proceso mediante el cual los ecosistemas o comunidades que han sido degradadas llevan a cabo por sí mismos eventos de recuperación (Walker, 2005). Según Murcia (2010), la sucesión ecológica forma parte de la restauración ecológica natural, es decir sin la intervención del ser humano, ya que las especies recuperan sus atributos originales de composición, estructura y función frente a ecosistemas cambiantes asegurando su supervivencia y su propagación en el hábitat.

- **Métricas del paisaje:** también conocidas como indicadores, son empleadas en la estimación de características de naturalidad o de comportamiento de los elementos de un paisaje. Se diferencian tres grupos de métricas: (1) composicionales, se centran en la biota, especies o grupos funcionales, (2) estructurales, describen la fragmentación de hábitat y (3) funcionales, se relacionan con el mantenimiento de procesos básicos, como producción, herbivorismo, predación, descomposición, perturbaciones características, sucesión, entre otros (Andreasen, 2001).
 - **Contraste de Borde:** que consiste en la generación de microclimas variables y condiciones edáficas dinámicas diferentes que promueven la interacción de especies del interior y el exterior, debido a que sus características morfoclimáticas permite la existencia de especies propias y nuevas (Granados, Serrano y García, 2014). Asimismo, permite mantener conexiones y flujos de organismos, materia y energía entre ecosistemas (Imbernon, Villacorta, Zelaya y Valle, 2005).
 - **Conectividad:** se contempla bajo el principio de conservación de hábitat y de los atributos ecológicos existentes, que busca identificar sitios claves para la conservación a través de la identificación de áreas con menor impacto antrópico, facilitando la propagación de especies y por ende la sucesión natural (Ramos y Finegan, 2006).

La conectividad se refiere a la medida en que las especies, los recursos y los actores se dispersan, migran e interactúan entre parches de hábitats (Simones et al., 2014), de modo que se convierte, en un elemento clave que permite la resiliencia y la mejora del paisaje, permitiendo el desplazamiento de especies y de genes entre los diferentes hábitats dentro de los paisajes (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017).

2.2 Marco legal

La normativa jurídica de la República del Ecuador en cuanto se refiere al ambiente, la conservación y la restauración de la naturaleza y todos los componentes que en ella están implícitos contiene instrumentos legales nacionales e internacionales que a continuación serán referidos de acuerdo al orden jerárquico de la normativa legal vigente establecido en el Art. 425 de la Constitución de la República del Ecuador del 2008 (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2008).

La Constitución de la República del Ecuador del 2008, es la norma suprema que prevalece sobre cualquier otra del ordenamiento jurídico; en el Art. 83, inciso 6. se fomenta a la población a “Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible”; los mismos que están contemplados en el capítulo séptimo, específicamente el Art. 72 donde “la naturaleza tiene derecho a la restauración”, de igual manera en los Art. 14 y 66 se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado; para lo cual los Art. 57, 276, 397, 400, 404, 406 y 414 declaran de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y todos sus componentes, la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2008).

Además, 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” como indica el Art. 409. De manera que, como hace referencia el Art. 405.- El sistema nacional de áreas protegidas garantizará la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas de los ecosistemas.

En el ámbito internacional la Organización de las Naciones Unidas (2011), suscribió el Convenio de Diversidad Biológica (CDB), siendo este un tratado jurídicamente vinculante con la Propuesta de Restauración del Ecosistema Bosque nublado a escala local y de paisaje en Papallacta, Cayambe-Coca, Ecuador; ya que, se enfoca a la conservación de la diversidad biológica en todos los niveles como ecosistemas, especies y recursos genéticos como menciona el Art. 2 y Art. 8, con el objetivo de promover medidas que conduzcan a un futuro sostenible donde se promueva la participación justa y equitativa en los beneficios ambientales que deriven de la utilización de los recursos naturales.

De manera que, de acuerdo con el Plan Estratégico para la Diversidad Biológica del período 2011-2020, los bosques incluyen a todas las formas de vida que se encuentran en ellos; por esta razón muchos países como Ecuador están empezando a restaurar sus bosques; a utilizar los existentes de una manera más sostenible y a conservar los bosques vírgenes restantes.

En cuanto al Código Orgánico del Ambiente (2017), tiene por objeto garantizar el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger los derechos de la naturaleza para la realización del buen vivir o *sumak kawsay*; cuyos instrumentos fortalecen los derechos que aseguran la sostenibilidad, conservación, protección y restauración del ambiente; es así que los Art. 3, 4, 7 y 8 disponen establecer, implementar, incentivar mecanismos e instrumentos para la conservación, uso sostenible y restauración de los ecosistemas, biodiversidad y sus componentes, patrimonio genético, Patrimonio Forestal Nacional, servicios ambientales.

La conservación de la biodiversidad se realizará in situ o ex situ, en función de sus características ecológicas, niveles de endemismo, categoría de especies amenazadas de extinción, para salvaguardar el patrimonio biológico de la erosión genética como señala el Art. 31; el Art. 37 indica que las áreas protegidas serán espacios prioritarios de conservación y desarrollo sostenible; además específicamente el Art. 94 hace mención de conservación de la cobertura forestal;

los Art. 99 y Art. 100 se refieren a la conservación de páramos, moretales y manglares; el Art. 106 y 261 inciso 11 menciona los planes para la conservación, restauración y protección del bosque natural.

El Art. 118 sobre restauración ecológica prioriza los suelos degradados o en proceso de desertificación, bajo lineamientos de la Autoridad Ambiental Nacional; para lo cual el Art. 119 impulsa e implementa programas o proyectos de reforestación con fines de conservación o restauración en áreas que se encuentren en proceso de degradación.

Además, el Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida 2017-2021 (2017), que está fundamentado en la sustentabilidad ambiental y el desarrollo territorial; de manera que, en el eje 1 referente a los Derechos para Todos Durante Toda la Vida, el objetivo 3 dispone “garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones con el fin de impulsar la protección y el cuidado de las reservas naturales y de los ecosistemas frágiles y amenazados”; además, la intervención 7: Reverdecer el país, busca “revertir la pérdida de cobertura forestal y la degradación de los bosques, así como fortalecer el desarrollo sostenible” (...) (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - SENPLADES, 2017).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la provincia de Napo, cantón Quijos, parroquia Papallacta de acuerdo con la división política del Ecuador. Limita al Norte con el cantón el Chaco de la parroquia de Oyacachi, al Sur con el cantón Archidona, al Este con la parroquia de Cuyuja y al Oeste con el Distrito Metropolitano de Quito (Figura 1) (Tituaña et al., 2017).

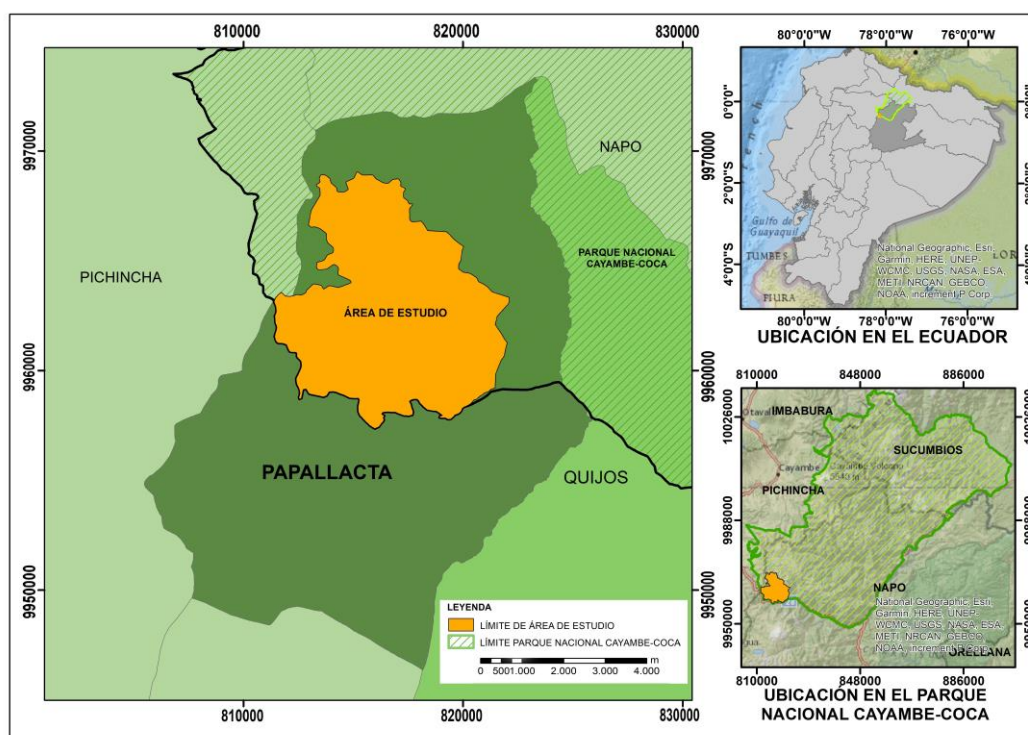


Figura 1. Ubicación área de estudio en la parroquia Papallacta dentro del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca.

La delimitación del área de estudio fue realizada bajo tres criterios: (1) estar localizada dentro de la zona de amortiguamiento del área de alta prioridad de conservación mundial, Parque Nacional Cayambe-Coca, (2) estar comprendida dentro del piso altitudinal de 3100 m s.n.m. a 4200 m s.n.m. y (3) las divisorias de

aguas naturales de la cuenca alta del río Papallacta. De tal manera que, comprende un área de 7717.42 hectáreas (Figura 1 y Figura 2).

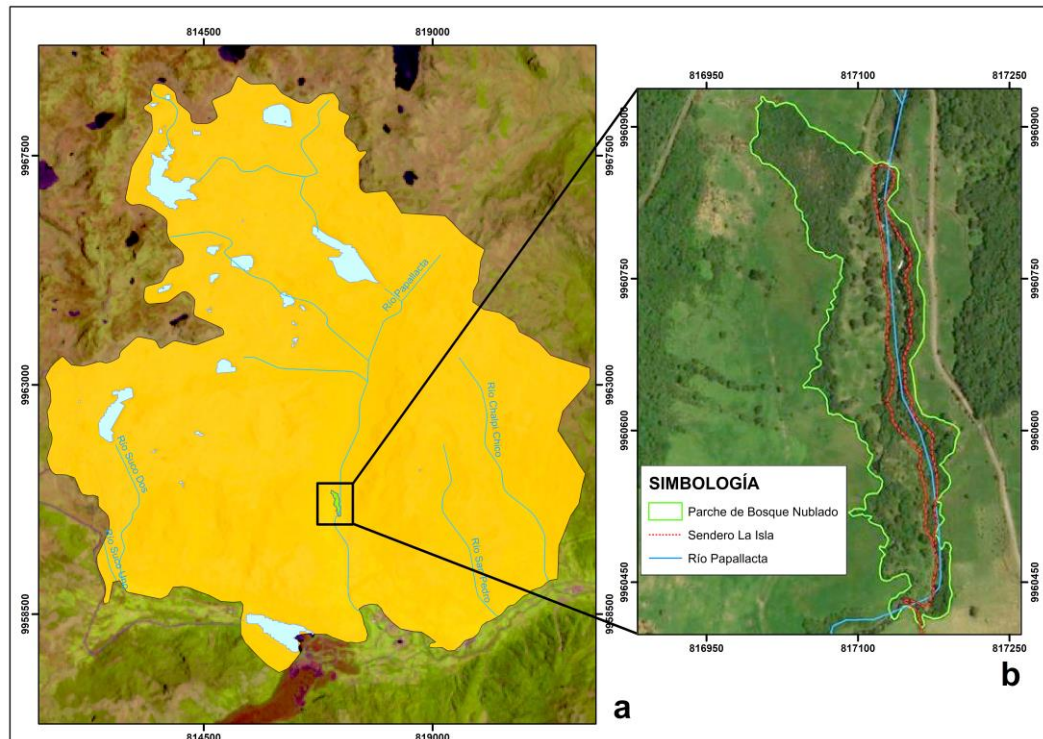


Figura 2. Ubicación área de estudio a (a) escala de paisaje y (b) escala local, en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca.

Las características que presenta son propias del ecosistema Bosque nublado con climas como (1) ecuatorial frío húmedo donde la temperatura promedio es de 8 a 12 grados centígrados y la precipitación media anual es mayor a 1000 mm; (2) clima de alta montaña con temperatura promedio entre 2 y 8 grados centígrados y precipitación media anual mayor a 500 mm y (3) clima nival con temperatura promedio menor a 2 grados centígrados y precipitación media anual mayor a 500 mm (Tituaña et al., 2017).

La vegetación que predomina en la zona es nativa riparia y de bosque entre las más representativas se identifica pumamaqui (*Oreopanax ecuadorensis*), polylepis (*Polylepis incana*), quishuar (*Buddleja incana*), cedro (*Cedrela odorata L.*), laurel (*Cordia alliodora*) y varias especies vasculares. Además, pajonales, almohadillas, chuquiraguas, musgos, romerillos, achupallas y mortiños que conforman la cuenca alta del Río Papallacta (Aldas y Arcos, 2011; Tituaña et al., 2017).

La extensión natural del área de estudio en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca, consta de cuatro sitios de muestreo, seleccionados de acuerdo con la configuración espacial de la vegetación nativa ubicados en las coordenadas que indica la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de sitios de muestreo del Bosque nublado Papallacta, Proyección UTM, Zona 17 Sur.

| SITIO DE MUESTREO | COORDENADA UTM | ALTITUD (m s.n.m.) |
|-------------------|----------------|--------------------|
| Sitio 1 | 817143 9960428 | 3363 |
| Sitio 2 | 817119 9960638 | 3382 |
| Sitio 3 | 817003 9960815 | 3411 |
| Sitio 4 | 817139 9960851 | 3399 |

Los sitios de muestreo ocupan 4.03 hectáreas de zona restaurada (Figura 3) y promueven la conectividad de los parches de bosque al encontrarse ubicados en áreas estratégicas dentro de la cuenca alta, media y baja del río Papallacta.

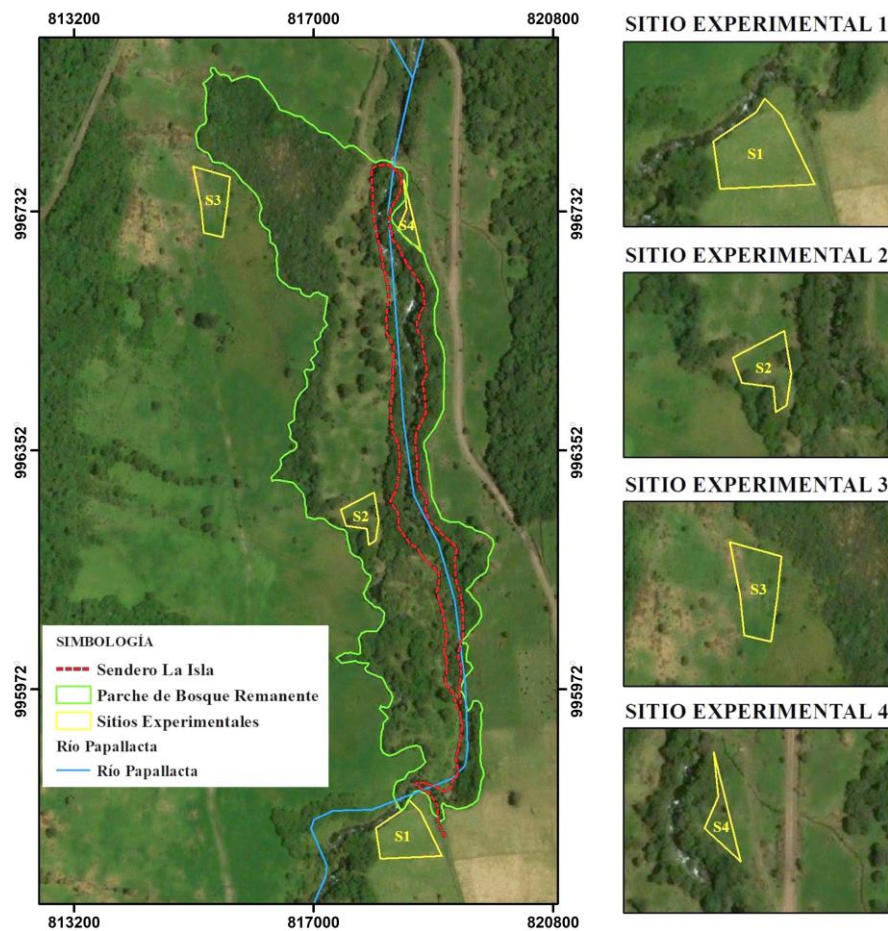


Figura 3. Localización de sitios experimentales en el área de estudio a escala local en Papallacta.

3.2 Métodos

La metodología a seguir se presenta de acuerdo a los objetivos planteados.

3.2.1 Evaluación de la efectividad de la restauración del Bosque nublado a nivel de especie

Para determinar la efectividad de la restauración a nivel de especie se evaluó el crecimiento y la supervivencia de 312 individuos de plantas correspondientes a ocho especies vegetales: *Alnus acuminata*, *Cedrela montana*, *Juglans neotropica*, *Myrcianthes halli*, *Morella pubescens*, *Oreopanax ecuadorensis*, *Podocarpus oleifolius* y *Polylepis incana*, las cuales estuvieron distribuidas en estrategias de nucleación experimentales:

- Monoespecífica, comprendido por 13 individuos de la especie *Polylepis incana*
- Asociada, comprendido por la asociación de cinco individuos de la especie *Alnus acuminata* y cuatro individuos de las especies *Juglans neotropica* y *Cedrela montana*.
- Mixta, comprendido por la vinculación de tres individuos de las especies *Oreopanax ecuadorensis*, *Podocarpus oleifolius*, *Morella pubescens* y cuatro individuos de la especie *Myrcianthes halli*

Cabe mencionar que, mediante el macro 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” en junio del 2017, se plantaron 13 individuos de muestreo en cada núcleo experimental. Así también, se implementaron dos repeticiones de cada núcleo experimental, teniendo un total de seis núcleos por cada sitio de muestreo.

Las mediciones de crecimiento y supervivencia se realizaron mensualmente durante 12 meses. Los datos se registraron en fichas de campo (Tabla 2), de

acuerdo con la codificación de cada individuo para la toma inequívoca de los datos de crecimiento y supervivencia.

Tabla 2. Descripción general de la ficha de campo para registro de supervivencia y crecimiento de especies

| CAMPO | DESCRIPCIÓN | RANGO |
|-------------------------------|--|---|
| Fecha | Fecha de toma de datos en campo | Día/Mes/Año |
| Sitio | Área total compuesta por núcleos | Sitio 1, Sitio 2, Sitio 3, Sitio 4 |
| Núcleo | Tratamientos experimentales | Asociado, Mixto y Polylepis |
| Monitoreo | Número de medición | M1, M2, M3, M4 |
| Código | Nomenclatura única asignada a cada individuo para ser identificado y monitoreado | S1P1P1 (Sitio 1, núcleo Polylepis 1, individuo <i>Polylepis incana</i> 1) |
| Altura total | Medición desde el suelo hasta el ápice mayor | > 0 centímetros |
| Longitud de rama axial | Medición de rama axial seleccionada | > 0 centímetros |
| Estado | Estado del individuo | Viva, muerta |
| Observaciones | Característica inusual que presente la planta | Especie enferma, quemada, rota, en latencia |
| Nota | Número de fotografía evidencial de la observación | IMG_20180711 |

Fuente: Modificado de Chamblas, (2015).

3.2.1.1 Evaluación de crecimiento

Para evaluar el crecimiento, se realizó la medición de la altura total de las plantas con un flexómetro, la medida fue tomada a favor de la pendiente. La longitud de la rama axial seleccionada fue tomada desde la yema hasta el ápice de la hoja. La medición del diámetro basal, fue realizado dos veces por año y se tomó la medida a 30 centímetros del suelo. Los datos registrados mensualmente se integraron a un data base en el software Excel.

Con la finalidad de obtener la ecuación que permitan representar el modelo y tendencia de crecimiento de las especies a través de la relación de las variables incremento de altura y meses de monitoreo, se aplicó un análisis estadístico de regresión lineal (1) y regresión polinómica (2) (Crawley, 2015), los resultados fueron interpretados mediante un diagrama de dispersión (Vila, Sedano, López y Juan, 2004). Las ecuaciones fueron expresadas de la siguiente manera:

Para la regresión lineal:

$$(y = ax + b) \tag{1}$$

Donde:
a,b: variables independientes
x: variables dependientes

Para la regresión polinómica:

$$(y = a + bx + cx^2 + dx^3 \dots) \tag{2}$$

Donde:
a,b: variables independientes
x: variables dependientes

Tomando en cuenta a Imaña y Encinas (2008), se determinó el aumento de altura y espesor de las especies, para los 12 meses de monitoreo a través del cálculo del Incremento Medio Anual - IMA (3), que expresa la medida de crecimiento total con respecto a la edad del individuo mediante la siguiente fórmula:

$$IMA = \frac{Y}{t_0} \tag{3}$$

Donde:
 t_0 : edad a partir del tiempo cero
Y: dimensión de la variable considerada

Para determinar los rangos de distribución en los que se encuentra cada especie, se efectuaron pruebas de normalidad, utilizando los métodos Shapiro-Wilk W, Anderson-Darling A y Jarque-Bera JB (Díaz, 2009), tomando en cuenta que, si el valor de p es mayor a 0.05 los datos se distribuyen de manera normal y, si el valor de p es menor a 0.05 los datos no se encuentran distribuidos de una manera normal (Porrás, 2015), los datos fueron procesados mediante el software Past 3.

Con la finalidad de cuantificar la intensidad de la relación entre las variables crecimiento (altura total y diámetro basal) en función del tiempo (Lahura, 2003) se calculó el coeficiente de correlación de Pearson para las especies cuyos datos en el análisis de distribución resultaron normales y mayores a cero en el análisis del Incremento Medio Anual - IMA (Lizama y Boccardo, 2014). Para los datos cuya distribución fue no normal se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman (Martínez, Tuya, Martínez, Pérez y Cánovas, 2009) los datos fueron evaluados mediante el software InfoStat.

3.2.1.2 Evaluación de supervivencia

Se evaluó la supervivencia de los 312 individuos a partir de la observación directa en campo y estableciendo categorías de tipo viva o muerta, tomando en cuenta como indicador el estado de las hojas y el tallo. Los datos registrados mensualmente fueron integrados a un data base en el software Excel. Para conocer el número de individuos por especie sobrevivientes se relacionó el número de individuos plantados en el mes cero y los sobrevivientes al cabo de los 12 meses de monitoreo, los datos fueron interpretados a través de un diagrama de barras.

Para representar el período exacto con mayor mortalidad de especies durante el monitoreo, los datos evaluados mediante la función de Kaplan Meier (4), y representados a través de una gráfica de curva escalonada que indica el mes en el que cada especie presentó mayor número de individuos vivos (Chamblas, 2015); los datos fueron procesados en el software Past 3, y la función se determinó mediante la fórmula:

$$\hat{S}^{KM} = \prod_{t_i < t} \frac{r(t_i) - d(t_i)}{r(t_i)} \quad (4)$$

Donde:

$r(t_i)$: Plantas vivas

$d(t_i)$: Plantas muertas

$t_i < t$: Tiempo de medición

3.2.2 Identificar sitios potenciales de restauración a escala local y de paisaje en el Bosque nublado Papallacta mediante métricas de contraste de borde y conectividad

Posterior a la delimitación del área de estudio, se utilizó una imagen satelital correspondiente al año 2017 seleccionada en época seca con el cielo despejado.

Se realizó una clasificación supervisada de los distintos tipos de uso y cobertura vegetal dentro del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca, basados en dos criterios: (1) representación de la imagen satelital del año 2017 y, (2) reclasificación bajo las directrices y características determinadas por el Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013). De manera que, a cada tipo de uso de suelo y cobertura vegetal obtenido se les atribuyeron clases (Tabla 3).

Tabla 3. Criterios y clases empleados para la reclasificación de tipos de uso de suelo y cobertura vegetal del Bosque nublado de Papallacta, de acuerdo al Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental

| CLASE | TIPO DE USO Y COBERTURA DE SUELO | CATACTERÍSTICAS | | | |
|-------|--|--|------------------------------------|--------------------------------------|-----------|
| | | Altitud (msnm) | Temperatura media anual (°C) | Precipitación media anual (mm) | Cobertura |
| 1 | Herbazal del Páramo Bosque siempreverde montano alto del Norte | 3400- 4300 | 2-12 | 1433 | bosque |
| 2 | de la Cordillera Oriental de los Andes | 3000- 3700 | 2-11 | 1303 | bosque |
| 3 | Pastos y cultivo | Áreas sin ningún tipo de cobertura vegetal | | | |
| 4 | Cuerpos de agua | Ecosistemas acuáticos | | | |
| 5 | Área urbana | Asentamientos poblacionales e infraestructuras | | | |
| 6 | Bosque nublado | 2000- 3500 | 10-30 | 500-1500 | bosque |

Fuente: Adaptado de Ministerio del Ambiente del Ecuador, (2013).

La clasificación supervisada de la imagen satelital permitió sintetizar los tipos de ecosistemas comprendidos en dos clases de coberturas forestales y no forestales localizadas dentro de los 3100 y 4200 m s.n.m. que comprenden el área de estudio, toda información fue procesada mediante el software ArcGis 10.5.

Adicionalmente, mediante el análisis del índice Kappa se verificó y determinó la similitud de la clasificación de los tipos uso de suelo y cobertura vegetal versus la imagen satelital del año 2017, realizando una comparación de las áreas comprendidas dentro de 100 puntos tomados aleatoriamente mediante el software ArcGis 10.5 y comprobados en el software GoogleEarth. Posterior a ello, se aplicó la matriz de confusión con la finalidad de conocer el grado y la fuerza de la concordancia de la clasificación mediante la calculadora online Confusion matrix en la página www.marcovanetti.com (Landis y Koch, 1977).

Las métricas utilizadas para priorizar sitios de restauración y cuantificar la conectividad fueron contraste de borde (ECON) y conectividad (IIC) (Pascual-Hortal y Saura, 2006; Kindlmann y Burel, 2008), ya que son atributos prioritarios dentro del paisaje espacial, esenciales para la recuperación y conservación de la biodiversidad, mitigar los efectos negativos de la fragmentación de hábitats y el cambio climático en los ecosistemas naturales (Echeverría, Gática y Fuentes, 2013).

3.2.2.1 Métrica de Contraste de borde

La métrica de contraste de borde se seleccionó debido a que permite determinar el grado de movimiento de los organismos a través del paisaje y tiene gran incidencia en la conectividad entre parches de hábitat dentro del paisaje (Peyras et al., 2013; Stevens et al., 2006). De modo que, para esta métrica se calculó el Índice de Contraste de Borde (ECON) mediante el software Fragstats v4.2.1 (McGarigal y Marks, 1995 y McGarigal, Cushman y Regan, 2005) y ArcGis 10.5.

ECON está comprendido como la densidad de borde donde a cada tipo de uso y cobertura vegetal se le asignó una unidad (0 o 100 metros) de acuerdo a la proximidad con matriz de disturbio, en el caso del presente estudio el ecosistema Pasto y cultivo (Tabla 4). Se calculó la media del Índice de Contraste de Borde (ECON) (5) en función de la estructura de la vegetación y las variables de composición del ecosistema Bosque nublado con respecto a los parámetros de la estrategia métricas de clase a nivel de parches (Echeverría, Gática y Fuentes, 2013).

Tabla 4. Densidad de borde aplicada al ecosistema Bosque nublado en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca

| TIPO DE USO Y COBERTURA DE SUELO | DENSIDAD DE BORDE (m) |
|---|------------------------------|
| Área urbana | 0 |
| Cuerpos de agua | 0 |
| Pastos y cultivo | 100 |
| Bosque nublado | 100 |

El índice se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$ECON = \frac{\sum_{k=1}^m (P_{ijk} \cdot ECW_{ik})}{P_{ij}} \quad (5)$$

Donde:

P_{ijk} : longitud (m) del borde del parche e ij tipo de hábitat adyacente

ECW_{ik} : diferencia entre peso de contraste de borde y tipos de hábitat i y k

P_{ij} : longitud (m) del perímetro del parche ij

Los datos obtenidos fueron interpretados bajo dos condicionantes: (1) si ECON es igual a 0, todas las áreas que comprenden el perímetro del parche tienen similitudes 0; (2) si ECON es igual a 100, todo el perímetro del parche tiene un contraste máximo (Echeverría, Gática y Fuentes, 2013).

3.2.2.2 Métrica de Conectividad

Conocer el grado de conectividad de un paisaje permite explicar las tendencias temporales y la variabilidad (Saura y Rubio, 2010; Saura et al., 2011) en cuanto a patrones espaciales del paisaje, dispersión de especies y flujo de genes (Bennett, 2003). Es así que, esta métrica contribuye al incremento de la biodiversidad y los flujos ecológicos entre parches de hábitat en el paisaje, ya que no solo depende de las características del paisaje sino también del movimiento de los organismos dentro de él (Taylor et al., 1993; Tischendorf y Fahrig, 2000).

Esta métrica se basó en la teoría gráfica (análisis de red) (Saura y Rubio, 2010), para ello, el Índice Integral de Conectividad (IIC), se utilizó para estimar cuantitativamente la conectividad paisajística en el área de estudio (Baranyi, Saura, Podani, Jordán, 2011), ya que IIC permite conocer el grado de conectividad que presenta cada parche de hábitat con respecto al paisaje, mediante la estimación de la accesibilidad entre parches de bosque natural (Hernández, Miranda, Arellano, Saura y Ovalle, 2015), se calculó utilizando el software Conefor 2.6.

IIC (6) fue calculado para cada parche natural del ecosistema Bosque nublado, a cada uno de ellos se evaluaron los nodos de importancia (parches de hábitat interconectados) a una distancia de dispersión de 300 metros con referencia al área total del parche del paisaje de estudio. Puesto que, la conectividad del paisaje depende no solo del área de los parches sino también de la distancia espacial entre parches (Cui, Feng, Wang, Li y Guo, 2018). El índice varía de 0 a 1, aumentando a medida que mejora la conectividad (Hernández et al., 2015), fue calculado a través de la fórmula:

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i \cdot a_j}{1 + nl_{ij}}}{A_L^2} \quad (6)$$

Donde:

a_i : área de cada parche de hábitat

nl_{ij} : número de enlaces en la ruta más corta (distancia topológica) entre parches i y j

n : número total de parches de hábitat en el paisaje

A_L : área total del paisaje

Sin embargo, IIC es el valor de índice general cuando todos los nodos existentes están presentes en el paisaje, por lo cual adicionalmente se determinó la importancia de los nodos para mantener la conectividad, a través del cálculo de la importancia del parche (dIIC) (7) (Saura y Pascual-Hortal, 2007), ya que esta permite evaluar la influencia de los parches con respecto a la conectividad (Cui et al., 2018), mediante la fórmula:

$$dIIC = 100 \bullet \frac{IIC - IIC'}{IIC} \quad (7)$$

Donde:

IIC: valor de índice general con todos los nodos del paisaje

IIC': valor de índice general después de la eliminación de un nodo único del paisaje

El dIIC (8) permite conocer la importancia de los parches del paisaje de acuerdo a tres aspectos calculados mediante la suma de tres fracciones (Bodin y Saura, 2010 y Saura y Rubio, 2010):

$$dIIC = dIICintra + dIICflux + dIICconnector \quad (8)$$

Donde:

dIICintra: conectividad interna del parche (dentro del área de hábitat del mismo).

dIICflux: flujo de dispersión ponderado del parche, ya sea este el punto inicial o final de conexión o flujo.

dIICconnector: contribución del parche como elemento de conexión o escalón entre parches.

La importancia de los parches de bosque, se clasificaron en tres niveles mínima, media y máxima de acuerdo con los valores dIIC, dIICintra, dIICflux y dIICconnector para 30 nodos de importancia del ecosistema Bosque nublado (Cui et al., 2018).

3.2.2.3 Determinación de nodos de importancia

En base a los datos obtenidos en el cálculo del Índice de Contraste de Borde (ECON) y el Índice Integral de Conectividad (IIC) se determinaron nodos o parches con valores más altos (ECON = 100 e IIC \geq 0.1) que permitieron definir

las áreas de hábitat prioritarias para la restauración y conservación del Bosque nublado de Papallacta en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica – SIG.

- **Establecimiento de Corredores ecológicos**

Con la finalidad de garantizar la sucesión natural de las especies en el paisaje actual se establecieron corredores ecológicos, como rutas que facilitan la conectividad entre los parches de hábitat (Walker y Craighead, 1997) de cada ecosistema con mayor contraste de borde y alto grado de conectividad, puesto que, los corredores ecológicos actúan como escalones entre parches de hábitat.

Tomando en cuenta los nodos de importancia y las limitaciones u obstáculos para la conectividad presentes en la matriz del paisaje, se elaboró un mapa de fricción, que representa el grado de dificultad para el desplazamiento de organismos sobre el área y está asociado a las limitaciones de la matriz del paisaje, considerando que, a mayor fricción de la matriz, mayor es la dificultad al desplazamiento de las especies (López, 2005; Colorado, Vásquez, Mazo, 2017). Para ello, se utilizaron las herramientas Multiple Ring Buffer, Raster calculator y Reclassify del software ArcGis 10.5.

El análisis incluyó la ponderación de cinco variables que influyen en la conectividad entre los remanentes de hábitat natural. Las variables escogidas fueron cobertura vegetal, distancia a vías, tamaño de lote, distancia a cuerpos de agua y pendiente (Tabla 5). A estas variables se les atribuyeron valores de fricción, tomando en cuenta que, a mayor fricción en la matriz existe mayor dificultad de conectividad y desplazamiento de especies.

Por lo cual, sí la fricción es mínima o nula con respecto a la variable el valor de 1, sí la fricción es intermedia el valor de 2 y, para aquellas unidades con fricción de desplazamiento alta el valor de 3 (Tabla 5).

Tabla 5. Criterios y valoraciones atribuidos a variables de limitación de desplazamiento de especies para mapa de fricción de conectividad ecológica del Bosque nublado en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca

| VARIABLE | CRITERIO | RANGOS DE LA VARIABLE | VALORACIÓN |
|-----------------------------|---|---|------------|
| Cobertura vegetal | Hábitats boscosos y estados de sucesión avanzados presentan menor dificultad de desplazamiento | Bosque nublado, Bosque siempreverde montano alto del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes | 1 |
| | | Herbazal del Páramo, Pastos y cultivo | 2 |
| | | Cuerpos de agua, Área urbana | 3 |
| Distancia de vías | Vías limitan el desplazamiento de especies. A mayor cercanía con vías, mayor dificultad de desplazamiento. | Distancia a vías entre 0 y 110 m | 3 |
| | | Distancia a vías entre 110 y 300 m | 2 |
| | | Distancia a vías mayor a 300 m | 1 |
| Tamaño de lote | A mayor área de lotes, menor dificultad de desplazamiento. | Lotes menores a 5 ha | 3 |
| | | Lotes de 5 a 16 ha | 2 |
| | | Lotes mayores a 16 ha | 1 |
| Distancia a cuerpos de agua | Los cuerpos hídricos favorecen la movilidad de las especies. A menor distancia con los cuerpos de agua, mayor desplazamiento. | Distancia a cuerpos de agua entre 0 y 100 m | 1 |
| | | Distancia a cuerpos de agua entre 100 y 300 m | 2 |
| | | Distancia a cuerpos de agua mayores a 300 m | 3 |
| Pendiente | A menor grados de pendiente de terreno, mayor dificultad de desplazamiento | Pendientes de 0° a 12° | 1 |
| | | Pendientes de 12° a 50° | 2 |
| | | Pendientes mayores a 50° | 3 |

Fuente: Modificado de Colorado, Vásquez, Mazo, (2017).

Se definieron 50 puntos (de inicio y fin) que permitieron trazar las rutas de los corredores ecológicos, conectando los nodos o parches de hábitat prioritarios del ecosistema Bosque nublado. Cabe mencionar que, los puntos para los corredores ecológicos fueron establecidos dentro del ecosistema Bosque nublado, con el fin de conectar remanentes naturales de alta importancia para la conectividad y así garantizar la restauración ecológica de este ecosistema dentro del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca a escala de paisaje.

Finalmente, se realizó un modelamiento espacial de los corredores ecológicos, a través de las herramientas Cost Distance, Cost Back Link y Cost Path en el software ArcGis 10.5 considerando que:

- Cost Distance, calcula la distancia de menor coste acumulativo para cada celda de origen más cercano sobre la superficie de coste (Adriaensen et al., 2003 y Foltête, Berthier y Cosson, 2008).
- Cost Back Link, define el vecino o celda siguiente en la ruta de mejor coste acumulativo al origen de menor coste (Li, Li, Li, Qiao, Yang y Zhang, 2010).
- Cost Path, calcula la ruta de menor coste desde un origen hasta su destino (Adriaensen et al., 2003 y Foltête, Berthier y Cosson, 2008).

Para cada ruta obtenida se aplicó un buffer de 25 metros, ya que, es la distancia óptima que garantiza la conexión ecosistémica y facilita el tránsito de especies dispersoras como aves y mamíferos y por lo tanto incrementa la recuperación de la cobertura vegetal mediante la sucesión natural de las especies (Chassot y Morera, 2007).

Es importante mencionar que, en cada corredor ecológico se deberán implementar los ensayos de restauración compuestos principalmente por las estrategias de nucleación mixta según los criterios de López-Barrera (2015) y Ayala y Camacás (2019). Para determinar el número de especies por cada corredor ecológico, se establecieron 24 núcleos por hectárea, considerando que cada núcleo cuenta con 13 individuos.

3.2.3 Elaboración de un programa de restauración a escala local y paisaje para el Bosque nublado en Papallacta

Tomando en cuenta los antecedentes históricos del sitio y los resultados obtenidos en el objetivo uno y dos del presente trabajo de titulación, se elaboró el “PROGRAMA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL ECOSISTEMA BOSQUE NUBLADO DE PAPALLACTA, EN EL HOTSPOT DE CONSERVACIÓN MUNDIAL CAYAMBE-COCA, ECUADOR” bajo los

lineamientos internacionales; el cual incluye las especies que registraron éxito en cuanto a adaptación y cumplimiento de funciones ecosistémicas y los sitios potenciales a restaurar a escala local y de paisaje. Además del contenido de información técnica adicional que se presentará dentro del contenido estructural del programa (Tabla 6).

Tabla 6. Contenido del programa de restauración a escala local y de paisaje

| CONTENIDO ESTRUCTURAL | CONTENIDO DE INFORMACIÓN TÉCNICA |
|--|--|
| Introducción | <ul style="list-style-type: none"> • Definiciones claves sobre restauración • Servicios ecosistémicos • Restauración activa y pasiva • Escala local y de paisaje |
| Antecedentes | <ul style="list-style-type: none"> • Antecedentes históricos del sitio • Problemática actual en área de estudio |
| Objetivos | <ul style="list-style-type: none"> • Objetivo general del programa • Objetivos específicos del programa |
| Metas | |
| Área de estudio | <ul style="list-style-type: none"> • Localización • Límites • Características físico-geográficas <ul style="list-style-type: none"> - Geomorfología - Hidrología - Climas • Características biológicas • Atractivos turísticos |
| Justificación | <ul style="list-style-type: none"> • Efectividad de especies idóneas |
| Metodología | <ul style="list-style-type: none"> • Priorización de sitios potenciales de restauración • Eficacia del ensayos y tratamientos <ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de plantas - Adaptación de plantas - Apertura de hoyos - Plantación • Diseño de corredores ecológicos • Propuesta de pilotos de monitoreo <ul style="list-style-type: none"> - Monitoreo a corto plazo - Monitoreo a mediano plazo - Monitoreo a largo plazo |
| Plan de actividades adicionales | <ul style="list-style-type: none"> • Manejo de factores limitantes o estresantes • Implementación de viveros comunitarios • Implementación de prácticas agroecológicas |
| Beneficios y resultados esperados | <ul style="list-style-type: none"> • Resultados a corte, mediano y largo plazo |
| Difusión | <ul style="list-style-type: none"> • Medios de difusión |
| Responsables y Cronograma | <ul style="list-style-type: none"> • Entidades gubernamentales • Entidades y entes no gubernamentales • Cronograma de actividades y resultados esperados |

Fuente: Adaptado de Galindo et al., (2008); Hernández, Langdon y Arellano, (2012).

3.3 Materiales y equipos

Los materiales e insumos utilizados tanto en trabajo de campo como de oficina se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7. Materiales e insumos

| MATERIALES DE CAMPO | | MATERIALES DE OFICINA |
|----------------------------|---|--|
| | - Cámara fotográfica Go pro 16mpx | - Computadora laptop hp |
| EQUIPOS | - GPS Garmin Gpsmap 64S | - Impresora Cannon Mg2410 |
| | - Teléfono celular | - Carta topográfica a escala 1:50000 |
| | - Libreta de campo impermeable | - Imagen satelital año 2017, Sentinel 2 |
| | - Flexómetro | - Resma de papel bond |
| | - Etiquetas | MATERIALES |
| | - Marcadores permanentes | - Memoria USB 8GB |
| MATERIALES | - Calibrador | - Tinta de impresión Cannon Mg2410 |
| | - Ejes de plantas | - ArcGis 10.5 |
| | - Alambre flexible | - Fragstats 4.0 |
| | - Traje impermeable | - Past 3. |
| | - Botas de caucho | - Fragstats v4.2.1 |
| | | - Confusion matrix |
| | | - InfoStat |

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la metodología realizada, los resultados detallados a continuación corresponden a cada objetivo.

4.1 Evaluación de la efectividad de la restauración del Bosque nublado a nivel de especie

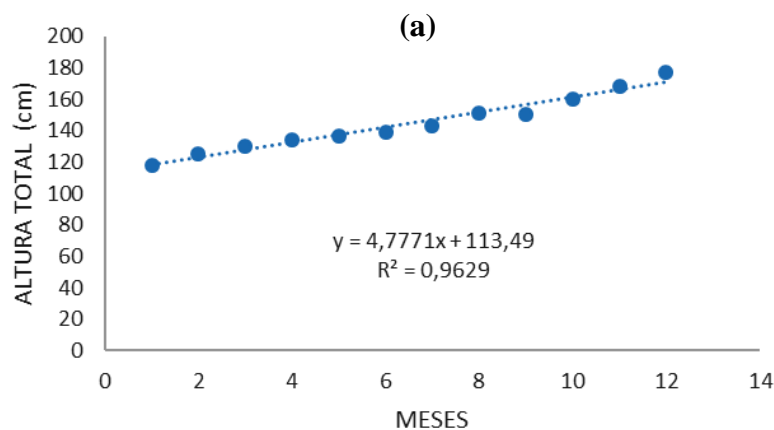
A continuación, se presentan los resultados de crecimiento y supervivencia de las especies *Alnus acuminata*, *Cedrela montana*, *Juglans neotropica*, *Myrcianthes halli*, *Morella pubescens*, *Oreopanax ecuadorensis*, *Podocarpus oleifolius* y *Polylepis incana*.

4.1.1 Evaluación de crecimiento

Los datos de la longitud total de las especies se describirán conforme a la tendencia de crecimiento presentada por cada especie al cabo de 12 meses.

- **Modelo de tendencia de crecimiento**

Las especies *Alnus acuminata*, *Morella pubescens*, *Podocarpus oleifolius* y *Polylepis incana* presentaron tendencia de crecimiento lineal con valores de r^2 de 0.96, 0.98, 0.94, 0.99 respectivamente, donde se evidenció que el crecimiento es ascendente a excepción de las especies *Alnus acuminata* y *Podocarpus oleifolius* en el periodo comprendido entre los meses seis y ocho de monitoreo (Figura 4).



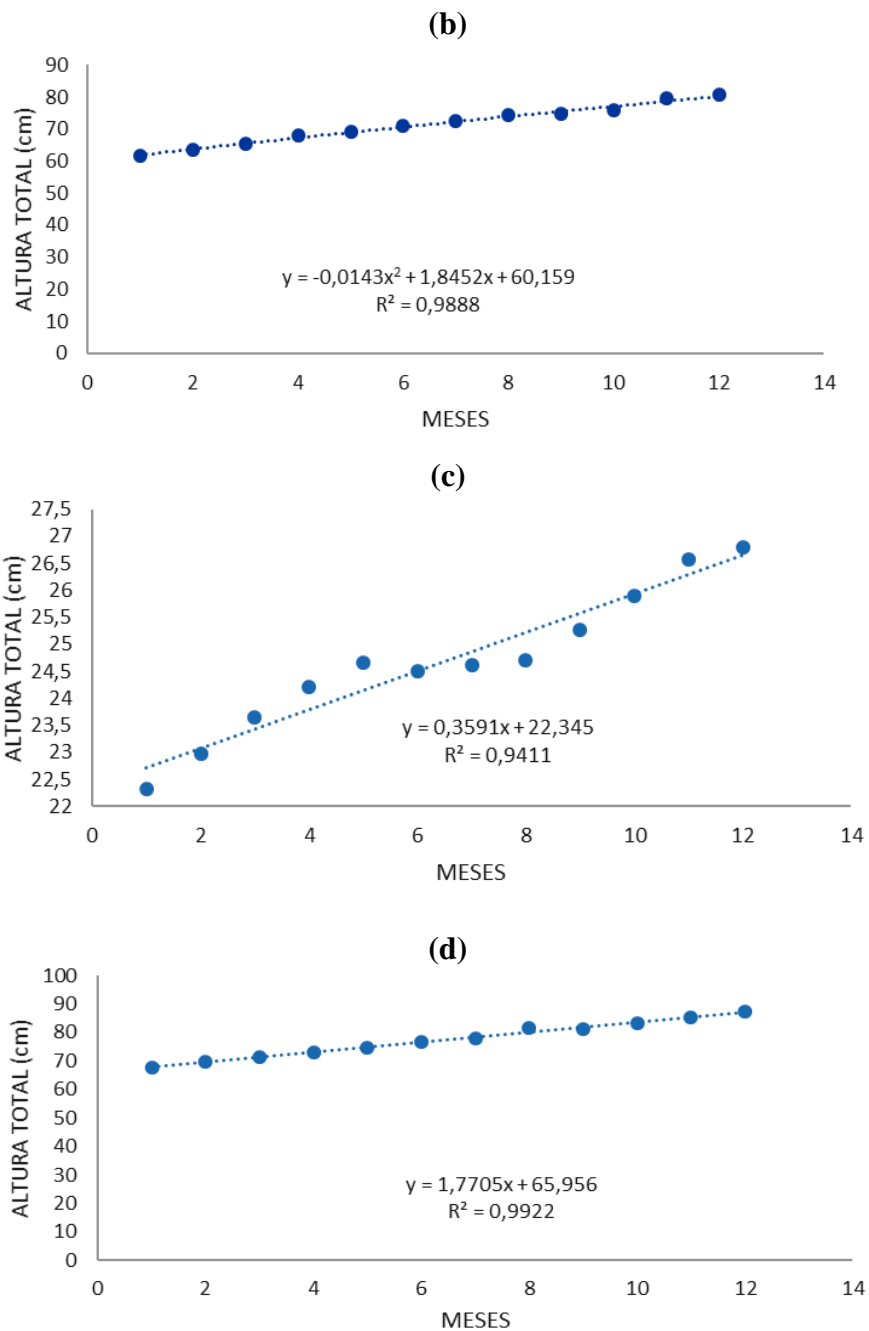


Figura 4. Crecimiento mensual de especies **(a)** *Alnus acuminata*, **(b)** *Morella pubescens*, **(c)** *Podocarpus oleifolii* y **(d)** *Polylepis incana*, en Papallacta.

Se evidenció que el crecimiento de las especies *Alnus acuminata*, *Morella pubescens*, *Podocarpus oleifolii* y *Polylepis incana* es ascendente progresivo, al igual que los estudios de Montenegro, Ramirez y Banco (1997), que reportaron un buen desarrollo en cuanto al crecimiento de las especies *Alnus acuminata* y

Morella pubescens. Ayma, Lovera y Soto (2017), por otro lado, determinaron que *Podocarpus oleifolius* presenta crecimiento lento y reducido en altitudes que oscilan desde 3005 a 3850 m s.n.m. En estudios realizados por la Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas - CESA (1989), Loján (1992), Castillo y Castro (1989) destacan también que los romerillos son considerados especies en peligro de extinción local, en razón que requieren de acciones de conservación y manejo.

Los altos niveles de crecimiento presentados por *Alnus acuminata*, *Morella pubescens*, *Podocarpus oleifolius* y *Polylepis incana* se deben a que, estas especies pertenecen al tipo de vegetación arbórea dominante en los páramos de los Andes (Kerr, 2004), además pueden adaptarse a suelos pobres de textura y con componentes variables (Renison et al., 2013). De manera que, el crecimiento que presentaron la mayoría de individuos de estas especies fue progresivo a partir de su plantación, debido al alto nivel de adaptabilidad a las condiciones físico químicas de la zona de Papallacta.

Por lo cual, se aduce que el continuo crecimiento y desarrollo de las especies en mención, especialmente de *Polylepis incana* se debe a que, estas producen materia orgánica que protege y nutre el suelo, lo que les permite crear condiciones óptimas propias para su desarrollo (Hofstede, Lips y Jongsma, 1998; Ceccon, 2013). Adicionalmente, *Polylepis incana* es una especie pionera y heliófila, que se establece y crece mejor que otras especies en hábitats pobres en recursos y con una competencia nula o limitada por parte de otras especies de plantas vasculares (Montalvo et al., 2018). Bajo estos conceptos, esta especie es óptima para la restauración de zonas Andinas (Kessler y Schmidt, 2006), ya que de acuerdo a los resultados de supervivencia, crecimiento y comportamiento *Polylepis incana* presentó una rápida adaptación y regeneración, además es la especie con mayor tolerancia a las variaciones de temperatura en la zona de Papallacta permitiendo así que su crecimiento sea continuo ascendente.

Las especies *Cedrela montana* y *Junglans netropica* mostraron crecimiento variado con tendencia polinómica de tercer grado reportando valores de r^2 de 0.81 y 0.92 respectivamente. De modo que, el desarrollo de estas especies estuvo fuertemente ligado con la pérdida constante de hojas (Figura 5).

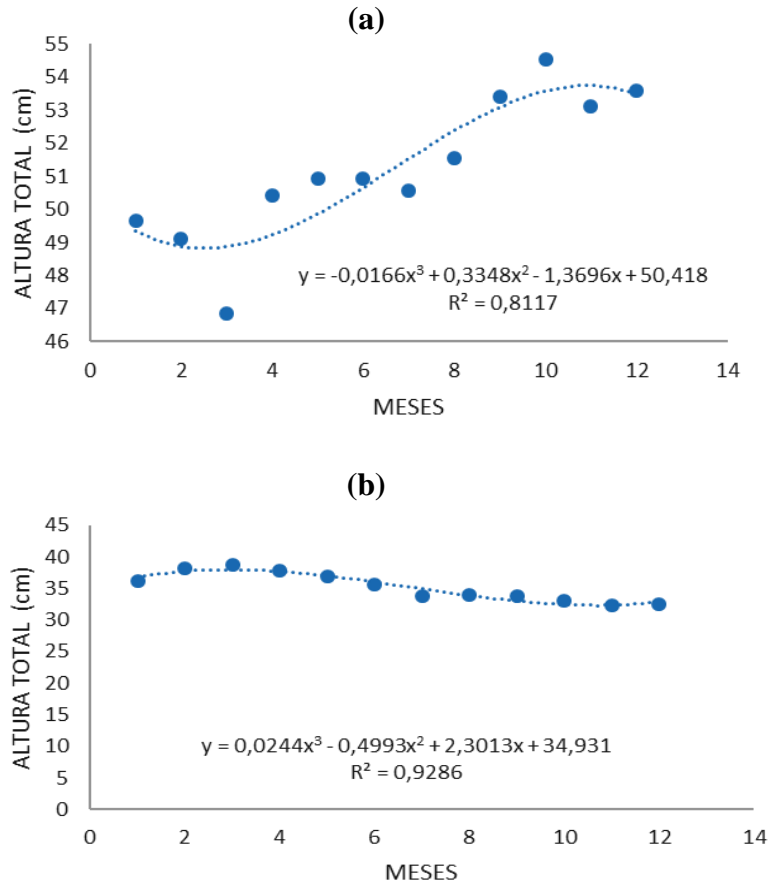


Figura 5. Crecimiento mensual de especies (a) *Cedrela montana* y (b) *Junglans netropica*, en Papallacta.

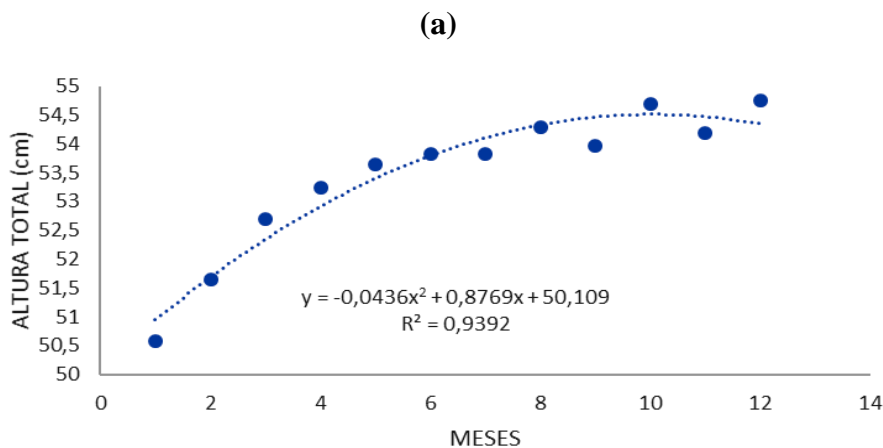
Se evidenció que el crecimiento decayó a partir del primer mes de monitoreo al igual que Castañeda, Inga y Arizapana (2013), reportaron alturas no mayores a 57.73 centímetros en 60 meses de monitoreo para *Cedrela montana*.

La pérdida de altura que presentan *Cedrela montana* y *Junglans netropica* se debe a que estas especies poseen un barrenador natural principalmente *Hypsipyla grandella* que ataca la yema apical de la planta ocasionando la muerte (Cintrón, 1990). Günter et al. (2009), argumentan que, especies de valor maderero pertenecientes al grupo de especies de sucesión media como *Cedrela* y *Juglans*

requieren de baja protección. No obstante, *Cedrela montana* y *Junglans netropica* no presentaron crecimiento progresivo dentro de la estrategia de nucleación asociada, ya que no fueron manejadas bajo criterios de control de plagas, de manera que el marchitamiento y la pérdida de hojas en cada mes de monitoreo fue significativo durante los 12 meses de monitoreo.

Adicionalmente, Pedraza y Linera (2003), mencionan que la presencia de un estrato arbóreo abierto mejora las condiciones del microclima, inhibiendo los efectos de la radiación solar y por ende evitando la proliferación de barrenadores naturales que marchitan y degradan las hojas de estas especies. De manera que, *Cedrela montana* y *Junglans netropica* deben ser plantadas en áreas con incidencia directa al sol, dentro de áreas con asociación de especie realizando el deshierbe del área puesto que, los insectos meristemáticos atacan principalmente durante los dos y tres años de vida de las plantas.

Por otro lado, *Myrcianthes halli* y *Oreopanax ecuadorensis* presentaron crecimiento variado, con incrementos y decrementos en su altura, revelado a través de la tendencia de crecimiento polinómica de segundo y tercer grado respectivamente, con valores de r^2 de 0.93 y 0.18 (Figura 6).



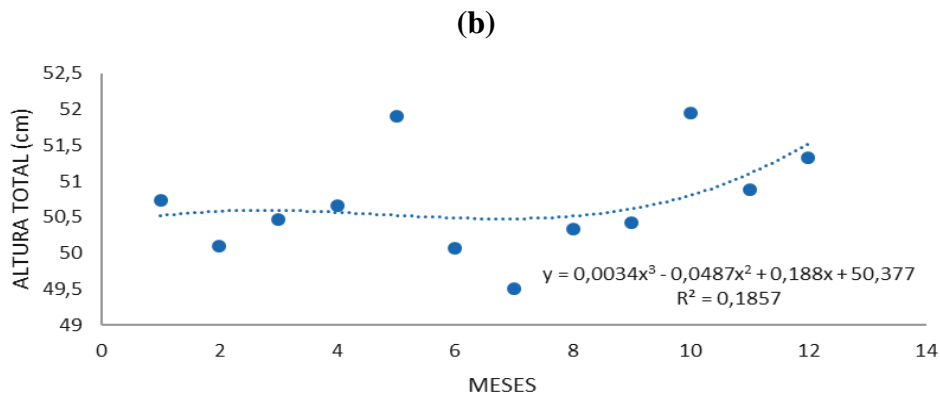


Figura 6. Crecimiento mensual de especies (a) *Myrcianthes halli* y (b) *Oreopanax ecuadorensis*, en Papallacta.

La misma tendencia de crecimiento, es reportada por Caranqui (2017) con rangos de altura final para *Oreopanax ecuadorensis* entre 8.3 y 6.8 centímetros, constatando así que, el crecimiento de esta especie no es uniforme.

El constante cambio y pérdida de hojas es la principal razón por la que la especie *Oreopanax ecuadorensis* presentó variaciones de altura. Lojan (1992), menciona que esta especie no se puede desarrollar de manera adecuada en áreas con semisombra, razón por la cual es recomendable que esta especie sea plantada en áreas con estrato arbóreo de crecimiento perene para evitar la pérdida de humedad en el suelo. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que, *Myrcianthes halli* y *Oreopanax ecuadorensis* se caracterizan por ser árboles de crecimiento lento y sucesión tardía (Ministerio del Ambiente del Ecuador y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015; Bermeo, 2015; Suárez, 2008), por lo cual, las evaluaciones efectuadas en los 12 meses de monitoreo no permiten conocer con certeza la adaptabilidad de estas especies.

- **Incremento Medio Anual (IMA)**

Las especies que presentaron mayor crecimiento total en altura diámetro y basal para los 12 meses de monitoreo fueron *Alnus acuminata* y *Polylepis incana*, mientras que, *Myrcianthes halli* y *Podocarpus oleifolius* registraron los valores más bajos.

En cuanto a altura total la especie *Alnus acuminata* obtuvo un crecimiento medio anual de 41.01 cm y *Polylepis incana* 39.64 cm. Por otro lado, *Podocarpus oleifolius* presentó valores considerablemente bajos con 37.13 cm (Figura 7).

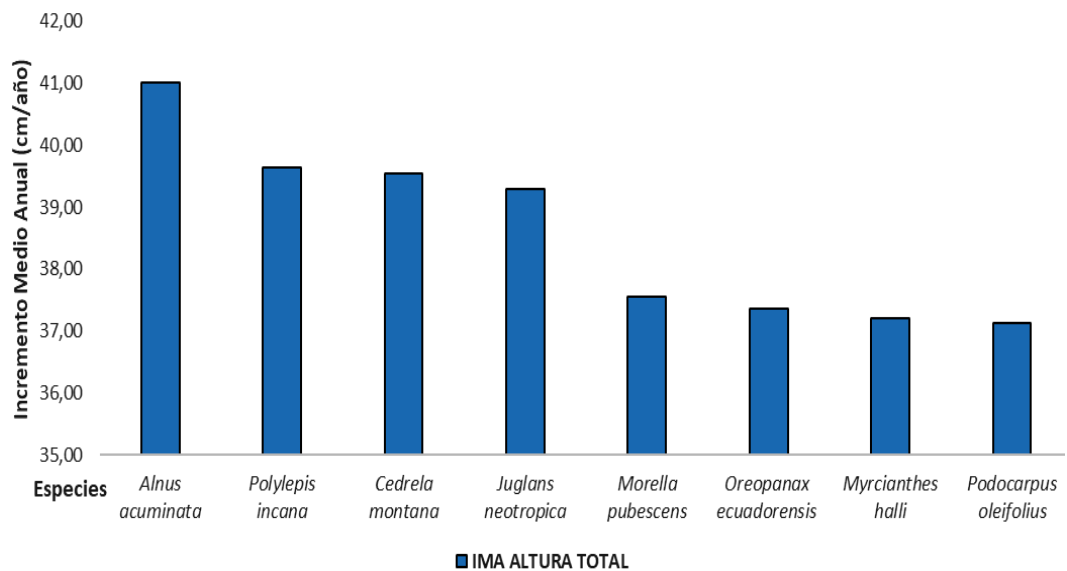


Figura 7. Valores según Incremento Medio Anual para altura total de ocho especies vegetales en Papallacta.

De igual manera, *Alnus acuminata* y *Polylepis incana* presentaron valores altos en cuanto al incremento de espesor para los 12 meses de monitoreo con valores de 0.7 cm. *Podocarpus oleifolius* y *Myrcianthes halli* registraron valores bajos con 0.61 cm (Figura 8).

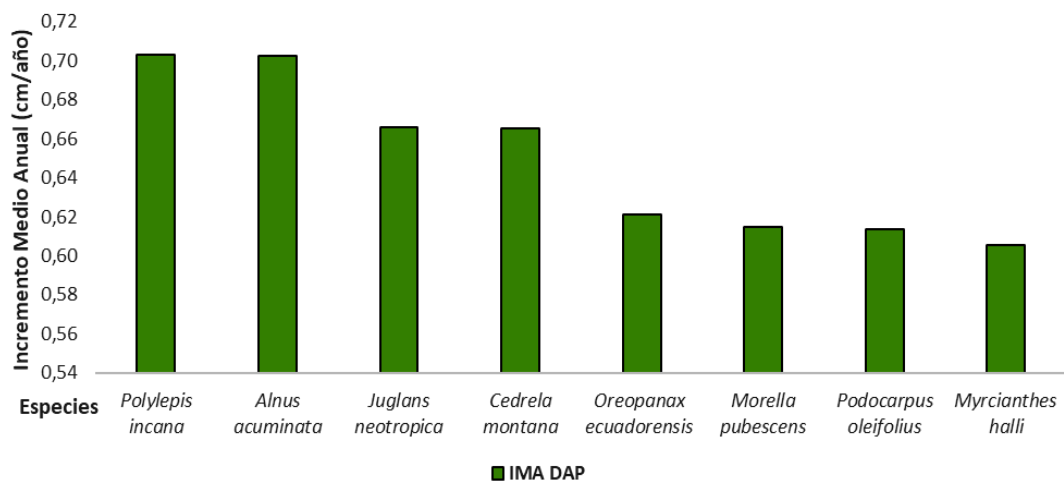


Figura 8. Valores según Incremento Medio Anual para diámetro basal de ocho especies vegetales en Papallacta.

- **Análisis de Normalidad**

De las ocho especies utilizadas para la restauración, únicamente *Cedrela montana* presentó rangos de distribución no normal, con valores de p menores a 0.05 de acuerdo a las pruebas de normalidad efectuadas con los métodos Shapiro-Wilk W, Anderson-Darling A y Jarque-Bera JB (Tabla 8).

Tabla 8. Rangos de distribución de pruebas de normalidad

| ESPECIE | N° | Shapiro - Wilk W | | Anderson-Darling A | | | Jarque-Bera JB | | |
|-------------------------------|----|------------------|----------|--------------------|----------|---------------|----------------|----------|---------------|
| | | Coef. | P normal | Coef. | P normal | P Monte Carlo | Coef. | P normal | P Monte Carlo |
| <i>Alnus acuminata</i> | 40 | 0.975 | 0.508 | 0.239 | 0.762 | 0.776 | 1.046 | 0.592 | 0.477 |
| <i>Cedrela montana</i> | 28 | 0.911 | 0.021 | 0.75 | 0.044 | 0.042 | 7.473 | 0.024 | 0.023 |
| <i>Juglans neotropica</i> | 24 | 0.922 | 0.065 | 0.639 | 0.084 | 0.083 | 2.532 | 0.282 | 0.096 |
| <i>Morella pubescens</i> | 23 | 0.96 | 0.473 | 0.383 | 0.368 | 0.378 | 0.983 | 0.611 | 0.46 |
| <i>Myrcianthes halli</i> | 32 | 0.959 | 0.269 | 0.486 | 0.210 | 0.207 | 1.336 | 0.5127 | 0.33 |
| <i>Oreopanax ecuadorensis</i> | 23 | 0.933 | 0.131 | 0.473 | 0.219 | 0.225 | 2.06 | 0.357 | 0.135 |
| <i>Podocarpus oleifolius</i> | 24 | 0.959 | 0.409 | 0.435 | 0.275 | 0.283 | 1.243 | 0.537 | 0.334 |
| <i>Polylepis incana</i> | 95 | 0.99 | 0.721 | 0.243 | 0.758 | 0.757 | 0.844 | 0.655 | 0.615 |

Debido a que existe escasa documentación sobre las condiciones óptimas para el desarrollo de *Cedrela montana*, los factores por los que su crecimiento resultó no normal son varios, uno de ellos es que esta especie está distribuida en tiene un amplio rango altitudinal, pero su comportamiento inherente lo clasifica como una especie de crecimiento medio a lento (Mier y Mesias, 2010).

- **Correlaciones**

A continuación, se describirán los resultados que correlacionan las variables de crecimiento (altura total y diámetro basal) en función del tiempo, en referencia a los resultados del análisis de distribución de cada especie presentados anteriormente.

- **Correlación de Pearson**

Las especies con distribución normal *Alnus acuminata*, *Juglans neotropica*, *Morella pubescens*, *Myrcianthes halli* y *Polylepis incana* obtuvieron una significancia alta, de manera que el crecimiento de estas especies es directamente proporcional a la edad de cada individuo, es decir, el crecimiento fue progresivo durante los 12 meses de monitoreo (Tabla 9).

Tabla 9. Coeficiente de correlación de Pearson y niveles de significancia para siete especies experimentales con distribución de crecimiento normal en Papallacta

| ESPECIE | N° | COEF. CORRELACIÓN DE PEARSON | Significancia | NIVEL SIGNIFICANCIA | |
|-------------------------------|----|------------------------------------|---------------|---------------------|-----------------|
| | | | | r α 0.05 | r α 0.01 |
| <i>Alnus acuminata</i> | 40 | 0.7 | ** | 0.257 | 0.358 |
| <i>Juglans neotropica</i> | 24 | 0.58 | ** | 0.33 | 0.453 |
| <i>Morella pubescens</i> | 23 | 0.66 | ** | 0.337 | 0.462 |
| <i>Myrcianthes hally</i> | 32 | 0.66 | ** | 0.296 | 0.409 |
| <i>Oreopanax ecuadorensis</i> | 23 | 0.33 | *ns | 0.337 | 0.462 |
| <i>Podocarpus oleifolius</i> | 24 | 0.12 | ns | 0.33 | 0.453 |
| <i>Polylepis incana</i> | 95 | 0.61 | ** | 0.173 | 0.242 |
| <i>Alnus acuminata</i> | 40 | 0.7 | ** | 0.257 | 0.358 |

Por otro lado, *Oreopanax ecuadorensis* y *Podocarpus oleifolius* no presentaron significancia en cuanto al coeficiente de correlación, determinando así que, el incremento de altura de estas especies es inversamente proporcional, es decir, no fue progresivo en todos los meses de monitoreo puesto que, son especies de lento crecimiento (Bermeo, 2015; Suárez, 2008) (Tabla 9).

- **Correlación de Spearman**

Cedrela montana, cuya distribución fue no normal presentó alta significancia, de manera que el crecimiento de estas especies es directamente proporcional con respecto a los meses de edad que poseen las especies desde su plantación (Tabla 10).

Tabla 10. Coeficiente de correlación de Spearman y niveles de significancia para *Cedrela montana* en Papallacta

| ESPECIE | N° | COEF. CORRELACIÓN DE SPEARMAN | Significancia | NIVEL SIGNIFICANCIA | |
|------------------------|----|-------------------------------------|---------------|---------------------|------------------|
| | | | | $r\alpha_{0,05}$ | $r\alpha_{0,01}$ |
| <i>Cedrela montana</i> | 28 | 0.77 | ** | 0.375 | 0.483 |

De tal modo que, las dos variables analizadas están influenciadas por otras variables como por ejemplo los componentes del suelo y la capacidad de respuesta frente a la competencia con especies nativas por recursos como la humedad del suelo, nutrientes y luz (Ramírez, García y Segovia, 2007), ya que *Cedrela montana* se clasifica como intolerante a la competencia y la sombra durante durante los primeros meses de plantación (Cintrón, 1990).

Günter (2009), manifiesta que *Cedrela montana* presentó desarrollo aceptable a los 36 meses de plantación en áreas con poca cobertura vegetal, lo que es similar a los resultados y criterios del presente estudio puesto que, al mantener la cobertura vegetal de una manera controlada se conservan e incrementan los componentes del suelo evitando la competencia entre las especies. Cintrón (1990), manifiesta que en algunas pruebas *Cedrela* creció mejor en los suelos enriquecidos con los restos quemados del bosque secundario.

Además, el crecimiento variado registrado en altura de *Cedrela montana* puede ser explicado por las observaciones de campo donde en muchos casos el tallo y las ramas murieron lentamente debido a *Hypsipyla grandella* que ataca la yema apical de la planta. Sin embargo, estas ramas rebrotaron a partir de la base, lo que provoca que su altura sea diferida. El cedro es capaz de crecer nuevamente después del desmoche (un nuevo crecimiento terminal parcial después de un daño moderado por el viento o una muerte de terminales parcial) (Cintrón 1990).

La altura de esta especie forestal nativa está fuertemente relacionada al tiempo en el que se evaluó el crecimiento y el tipo del uso del suelo, debido a que cumple con los requerimientos de la especie en la cantidad de materia orgánica, humedad

relativa y competencia. Del mismo modo, la cobertura arbórea y arbustiva favorece la supervivencia y crecimiento de esta, gracias a la cantidad de luz requerida. Por lo tanto, *Cedrela montana* puede ser usada para prácticas de silvicultural ya que, favorece la apertura de claros de bosque pues, son consideradas como heliófitas durables, es decir requieren luz para desarrollarse (Fredericksen, Contreras y Pariona, 2001).

4.1.2 Evaluación de supervivencia

De 312 individuos plantados al inicio del proyecto de restauración 289 presentaron supervivencia al cabo de los 12 meses de monitoreo, donde para las especies *Alnus acuminata*, *Myrcianthes halli* y *Podocarpus oleifolius* ningún individuo murió. *Morella pubescens* y *Oreopanax ecuadorensis* perdieron únicamente un individuo. *Cedrela montana*, *Juglans neotropica* y *Polylepis incana* registraron la mayor pérdida de individuos con 4, 8 y 9 respectivamente (Figura 9).

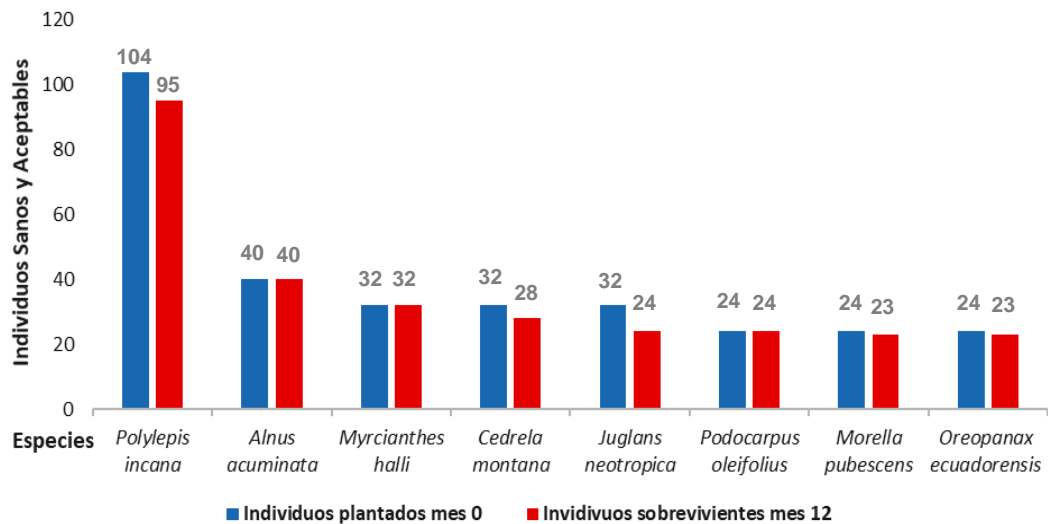


Figura 9. Número de individuos por especie plantados para restauración versus número de individuos por especie sobrevivientes en 12 meses de monitoreo en Papallacta.

Las especies que presentaron mayor tasa de supervivencia fueron *Myrcianthes halli* y *Podocarpus oleifolius* con una probabilidad del 100%. *Morella pubescens*, *Oreopanax ecuadorensis*, *Alnus acuminata* y *Polylepis incana* obtuvieron

porcentajes de 96%, 96%, 95% y 91% respectivamente, considerándose una supervivencia medianamente alta. Mientras que, los porcentajes más bajos fueron los presentados por las especies *Cedrela montana* con 87% y *Juglans neotropica* con 75% (Figura 10).

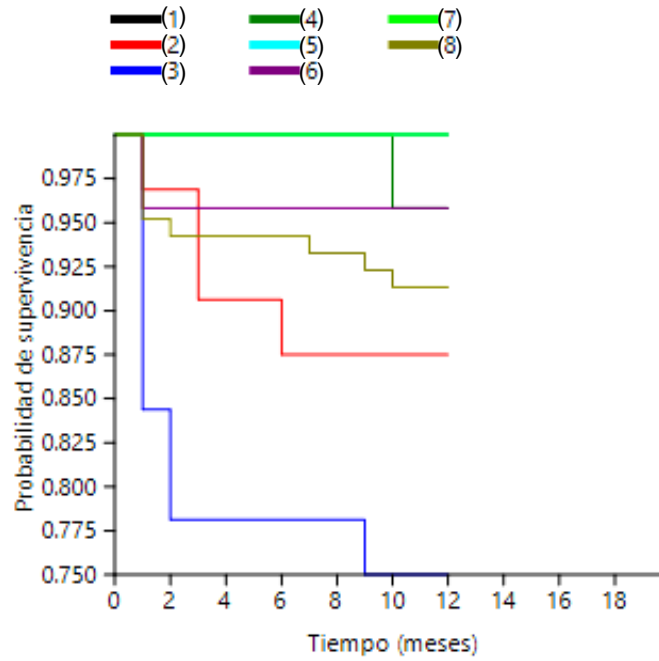


Figura 10. Probabilidad de supervivencia para las especies (1) *Alnus acuminata*, (2) *Cedrela montana*, (3) *Juglans neotropica*, (4) *Morella pubescens*, (5) *Myrcianthes halli*, (6) *Oreopanax ecuadorensis*, (7) *Podocarpus oleifolius* y (8) *Polylepis incana*.

Estos resultados son superiores a los obtenidos por Montenegro, Ramírez y Banco (1997), que reportaron a *Alnus acuminata* y *Myrcianthes halli* con tasas de crecimiento inferiores al 86%. De igual manera, Ayma, Lovera y Soto (2017), presenta valores de supervivencia menores que oscilan entre 0 y 23% para *Podocarpus oleifolius* implantada en altitudes de 3005 a 3850 m s.n.m. De manera que, las diferentes tasas de supervivencia y las variaciones en mortalidad presentadas por las ocho especies experimentales se deben a la constante competencia por recursos que mantienen los pastos y vegetación riparia, además estas resultan ser tolerantes a defoliadores naturales y plagas (Otsamo, 1997), razón por la cual para garantizar la supervivencia de todas las especies se debe hacer un control natural de la maleza y plagas.

4.2 Identificación de sitios potenciales de restauración a escala local y de paisaje en el Bosque nublado Papallacta mediante métricas de contraste de borde y conectividad

Con respecto a la clasificación supervisada realizada se determinaron seis ecosistemas de acuerdo a los distintos tipos y usos de cobertura vegetal que presenta el área de estudio dentro del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca (Figura 11).

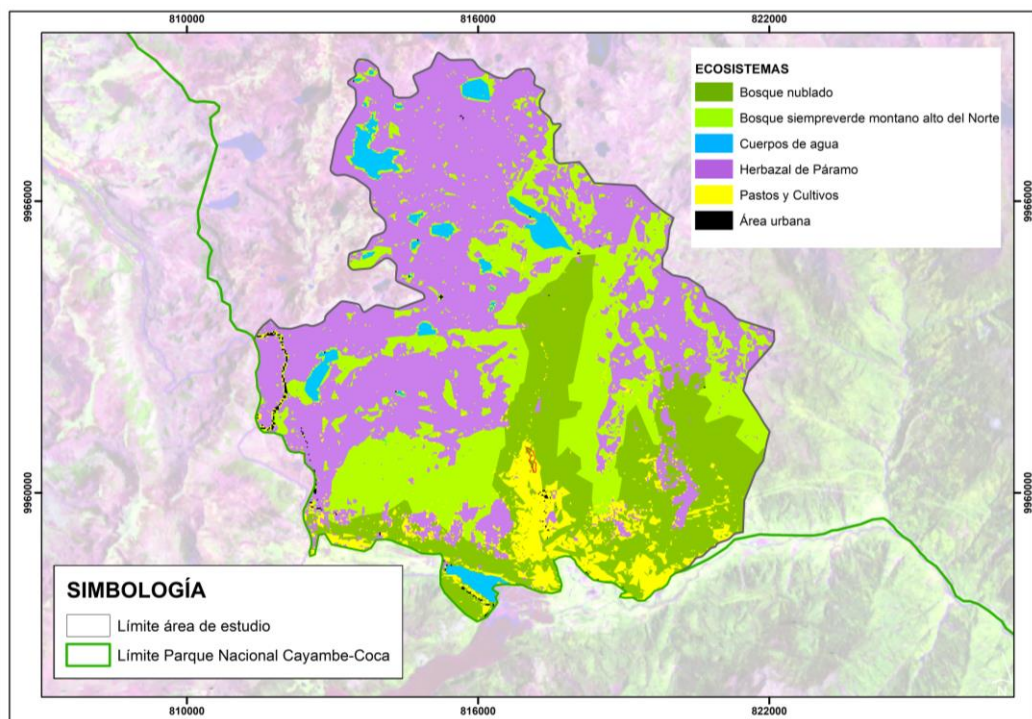


Figura 11. Ecosistemas de acuerdo al tipo y uso de cobertura vegetal dentro del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca.

Mediante el análisis del índice Kappa y la matriz de confusión se verificó que la concordancia de la clasificación con respecto al valor para cada clase dependió de la similitud de la clasificación con respecto al paisaje natural. De manera que, las seis clases de tipo de uso de suelo y cobertura vegetal determinados en este estudio para el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca están dentro del rango casi perfecto, con un coeficiente kappa de 0.82 (Landis y Koch, 1977).

Cabe mencionar que, la clase correspondiente al área urbana no fue tomada en cuenta, puesto que, de los 100 puntos tomados aleatoriamente para la verificación, ninguno coincidió con este tipo de uso de suelo (Figura 12 y Tabla 3).

| | Class 1 | Class 2 | Class 3 | Class 4 | Class 5 | Class 6 | Class 7 | Class 8 | Classification overall | Producer Accuracy (Precision) |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------------|-------------------------------|
| Class 1 | 17 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 94.444% |
| Class 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 100% |
| Class 3 | 0 | 0 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 100% |
| Class 4 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 100% |
| Class 5 | 0 | 2 | 2 | 3 | 17 | 5 | 0 | 0 | 30 | 56.667% |
| Class 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 9 | 100% |
| Class 7 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 4 | 75% |
| Class 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 100% |
| Truth overall | 17 | 4 | 20 | 20 | 17 | 14 | 3 | 5 | 100 | |
| User Accuracy (Recall) | 100% | 25% | 85% | 85% | 100% | 64.286% | 100% | 80% | | |

Overall accuracy (OA): 85%
Kappa¹: 0.82

Figura 12. Matriz de confusión clasificación de ecosistemas hotspot de conservación mundial Papallacta.

4.2.1 Métrica de Contraste de Borde

El 35% del área de estudio estuvo compuesta por parches de hábitat natural del ecosistema Bosque nublado con alto Contraste de Borde con respecto al área de contraste o disturbio permanente, el ecosistema Pasto y Cultivo. Del cual, de 107 parches naturales, 75 presentaron valores de ECON altos (ECON = 100) y únicamente nueve registraron valores de ECON bajos (ECON = 50) (Tabla 11).

Tabla 11. Valores del índice de ECON para 107 parches naturales de ecosistema Bosque Nublado de Papallacta.

| ECON (%) | NÚMERO DE PARCHES |
|----------|-------------------|
| 100 | 75 |
| 99-80 | 11 |
| 79-60 | 12 |
| 59-50 | 9 |

De tal forma que, el 80% del ecosistema Bosque nublado presentó alto Contraste de Borde (ECON \geq 80), debido a que 86 parches del ecosistema Bosque nublado que se encontraron inmersos y aislados por la matriz de disturbio compuesta por zonas de agricultura y ganadería intensiva (Figura 13).

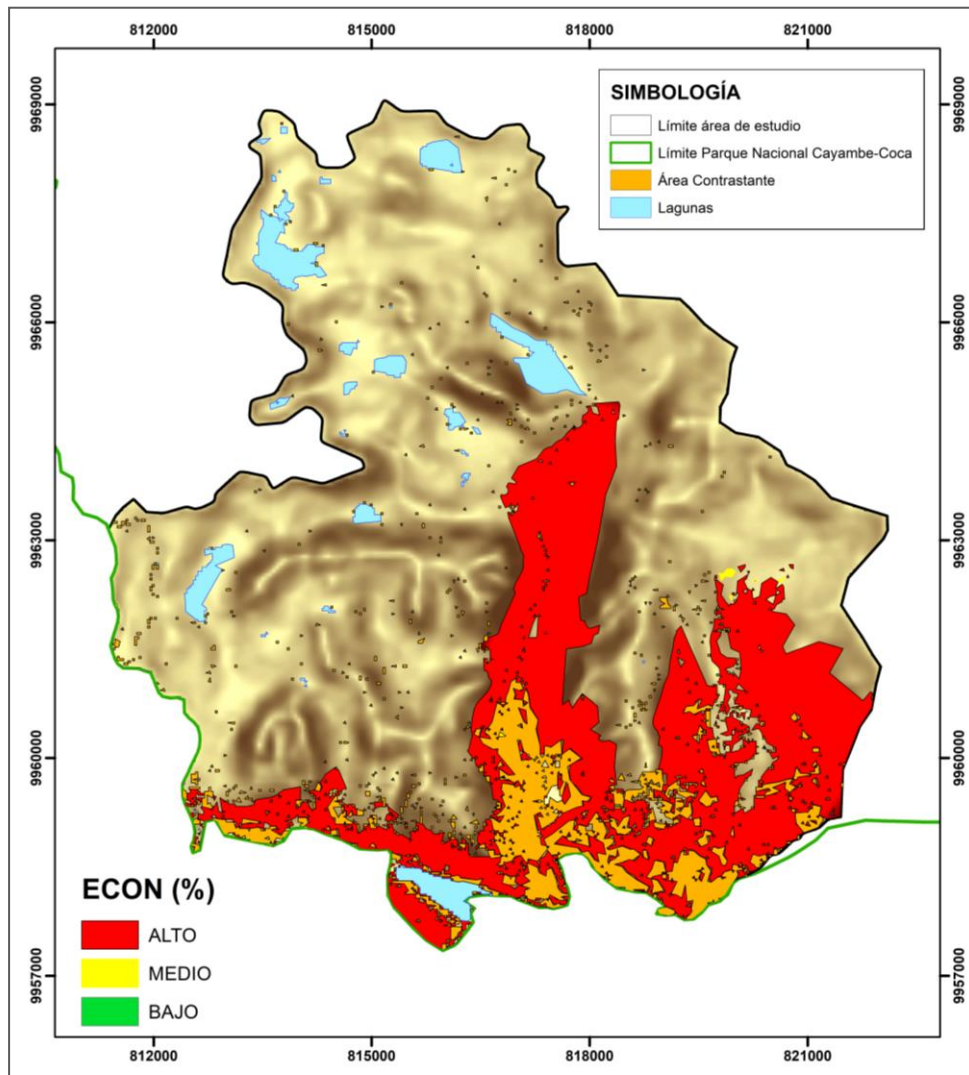


Figura 13. Índice de Contraste de Borde para parches naturales del ecosistema Bosque Nublado.

Del mismo modo, Echeverría, Gática y Fuentes (2013) priorizaron hábitats forestales de acuerdo a los valores de ECON, donde parches comprendidos por áreas con especies invasoras como *A. dealbata* y *A. melanoxylon* obtuvieron alto contraste (ECON = 90), seguido por áreas de plantaciones comerciales forestales (ECON = 70) y el valor de ECON más bajo fue el presentado por el área comprendida por el bosque natural (ECON = 30).

De acuerdo al análisis obtenido, el ecosistema Bosque nublado presentó alto porcentaje de ECON debido a que la matriz de disturbio fragmenta y su expansión, reduce los hábitats naturales. Adicionalmente, se evidenció que el ecosistema Bosque nublado es propenso a disturbios permanentes al encontrarse próximo a áreas destinadas a ganadería y agricultura extensiva. De manera que, parches naturales situados cerca de áreas de Pasto y Cultivo presentan menor calidad ecológica y pérdida gradual de los atributos ecológicos propios del hábitat reduciendo así, el flujo y movimiento natural de las especies que facilita la sucesión y regeneración natural del ecosistema (Lægaard 1992, Verweij y Budde, 1992) razón por la cual es indispensable establecer parches focales que permitan conectar estos hábitats, y por ende faciliten la acogida y protección de las especies.

Es así que, priorizar áreas o remanentes naturales con alto Contraste de Borde permite identificar no sólo los hábitats alterados sino el grado de afectación de cada uno de ellos, a causa de la reducción de la calidad de los ecosistemas de borde (Fuentes y Ramirez, 2010). Asimismo, los resultados presentados evidencian que, plantaciones monoespecíficas o el pastoreo intensivo, contribuye a la pérdida de procesos ecológicos y atributos del ecosistema en mayor medida en zonas de borde, fragmentando los paisajes y reduciendo la probabilidad de la restauración natural (Zeng y Wu, 2005; Echeverría, Gática y Fuentes, 2013). De tal modo que, en el presente estudio los 86 parches de hábitat con alto Contraste de Borde están considerados como indicadores espaciales de sitios prioritarios que requieren acciones de restauración.

4.2.2 Métrica de Conectividad

De acuerdo con el análisis de los índices importancia relativa de cada parche (dIIC) para determinar la conectividad del Bosque nublado en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca, los porcentajes de importancia se muestran en tres clases donde, la importancia mínima se identifica en color verde, media en amarillo y máxima en rojo.

- **Fracción de conectividad interna del parche (dIICintra)**

El ecosistema Bosque nublado presentó 30 nodos de importancia para la conectividad, de los cuales, los valores más altos de conectividad interna del parche (dIICintra) se registraron en siete nodos de importancia con rangos que van de 0.0003% a 78.65%, seis remanentes naturales presentaron valores medios con rangos de 0.00009% a 0.0003%. Los rangos mínimos de conectividad interna están presentes en 17 nodos con valores de 0 a 0.00009% (Figura 14).

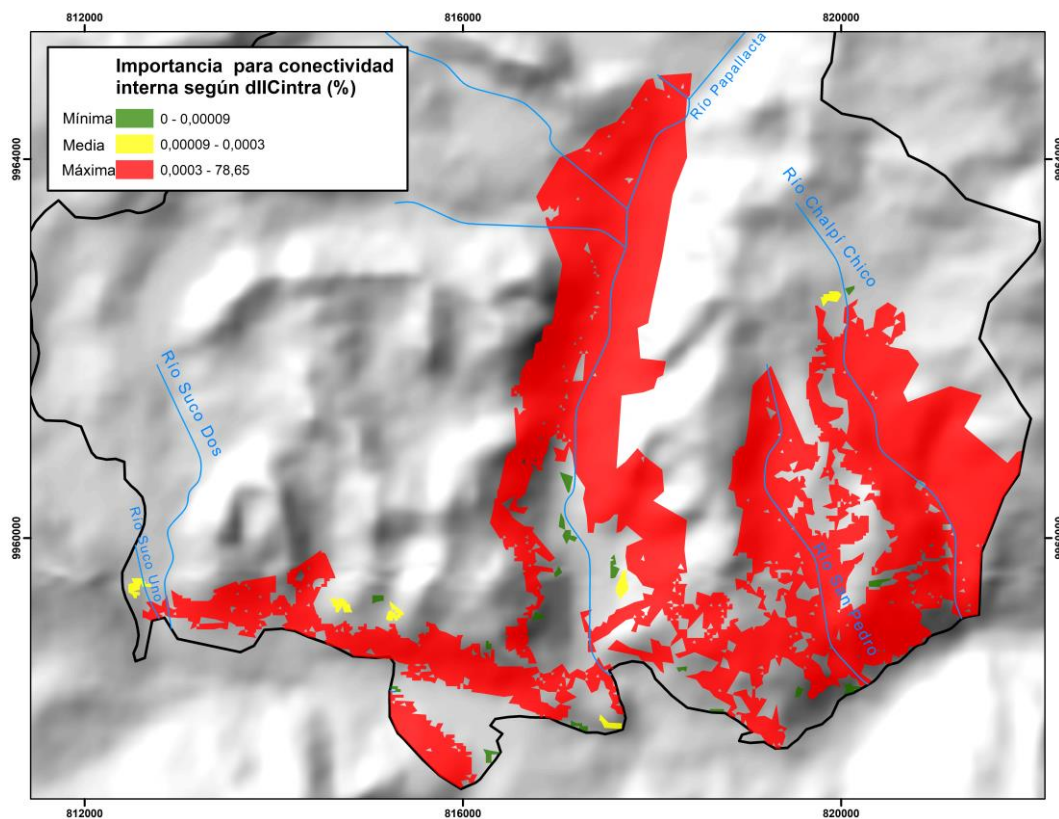


Figura 14. Porcentajes de conectividad interna (dIICintra) de 30 parches de hábitat del ecosistema Bosque nublado.

Evidenciándose así que, dentro del área de estudio los remanentes naturales de gran extensión (ha) dispersos dentro de la matriz del paisaje poseen mayor conectividad dentro del área de hábitat de los mismos. No así, los parches con menor extensión (ha), puesto que están próximos o inmersos en áreas con disturbios permanentes principalmente el aumento de la frontera agrícola y

pecuaria, de tal modo que están propensos a perder y disminuir los flujos de energía y organismos dentro de cada uno, debilitando las conexiones internas entre microecosistemas y la persistencia de los mismos.

- **Fracción de flujo de dispersión (dIICflux)**

Seis remanentes de Boque Nublado presentaron mayor porcentaje de importancia en cuanto al índice de flujo de dispersión (dIICflux) con rangos que van de 0.24 a 18.4%, ocho remanentes registraron rangos de 0.09% a 0.24% considerándose porcentajes medios. Los valores mínimos de dIICflux se registraron en 16 nodos con valores de 0% a 0.09%. De manera que, parches de menor tamaño reducen la conectividad del paisaje ya que presentan menor flujo de dispersión de organismos y energía, quedando aislados dentro de la matriz del paisaje y con porcentajes mínimos de diversidad de especies (Figura 15).

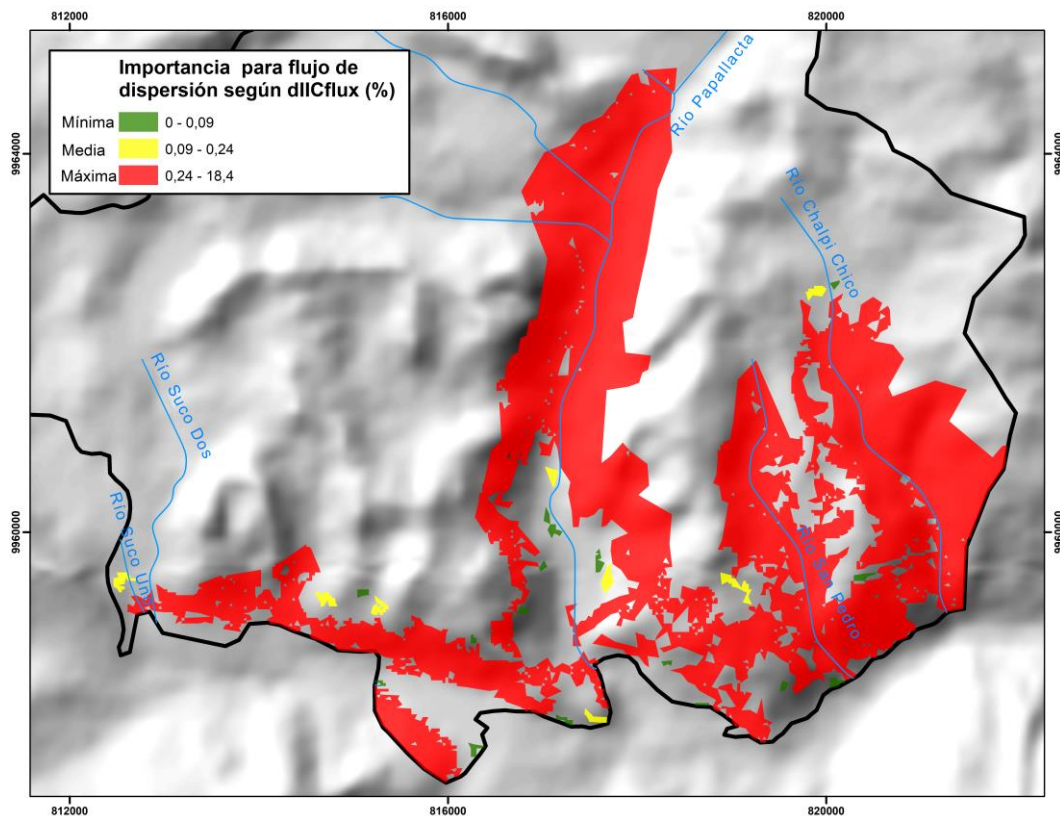


Figura 15. Porcentajes de flujo de dispersión (dIICflux) de treinta parches del ecosistema Bosque nublado.

- **Fracción de contribución para conexión (dIICconnector)**

El ecosistema Bosque nublado registró únicamente dos rangos en cuanto a la contribución para la conectividad (dIICconnector) dentro del área de estudio. El rango con valores máximos de 0% a 0.0015% estuvo comprendido dentro de dos nodos de importancia que presentaban mayor extensión (ha) y, 28 nodos registraron rangos de 0% (Figura 16).

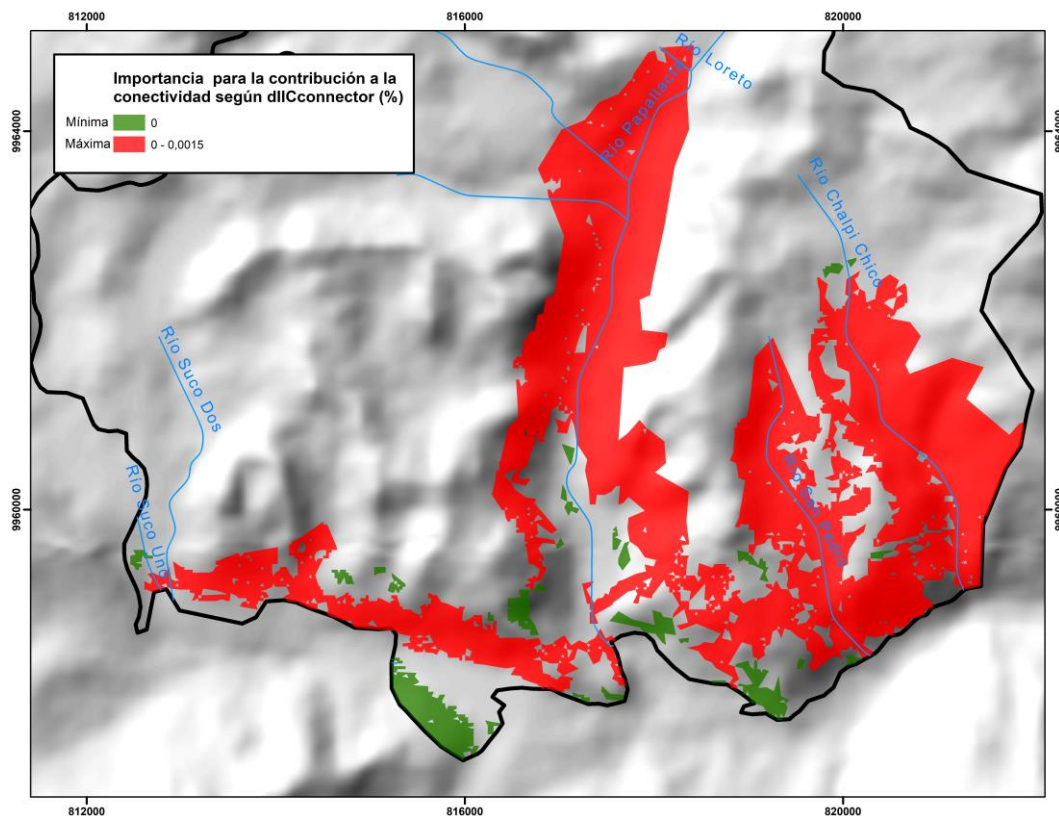


Figura 16. Porcentajes de fracción de contribución a la conectividad (dIICconnector) de treinta parches del ecosistema Bosque nublado.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las fracciones de dIIC (dIICintra, dIICflux y dIICconnector) los porcentajes máximos de importancia para la conectividad (dIIC) están presentes en 14 parches naturales del ecosistema Bosque nublado con rangos que oscila de 0.09% a 97.06%, los porcentajes medios se registraron en 10 remanentes con valores de 0.037% a 0.09% y únicamente seis parches naturales registraron porcentajes bajos en importancia para la conectividad con rangos que van de 0.037% a 0% (Figura 17).

Indicando así, la alta fragmentación del ecosistema Bosque nublado debido a la expansión de áreas destinadas a pasto y cultivo dentro del paisaje natural. Además, se determinó que a menor tamaño de parches la conectividad interna de los microecosistemas (dIICintra), los flujos de energía y organismos (dIICflux) y la conectividad con otros remanentes naturales (dIICconnector) es menor, puesto que, son áreas aisladas y sujetas a disturbios permanentes dentro de la matriz del paisaje (Figura 17).

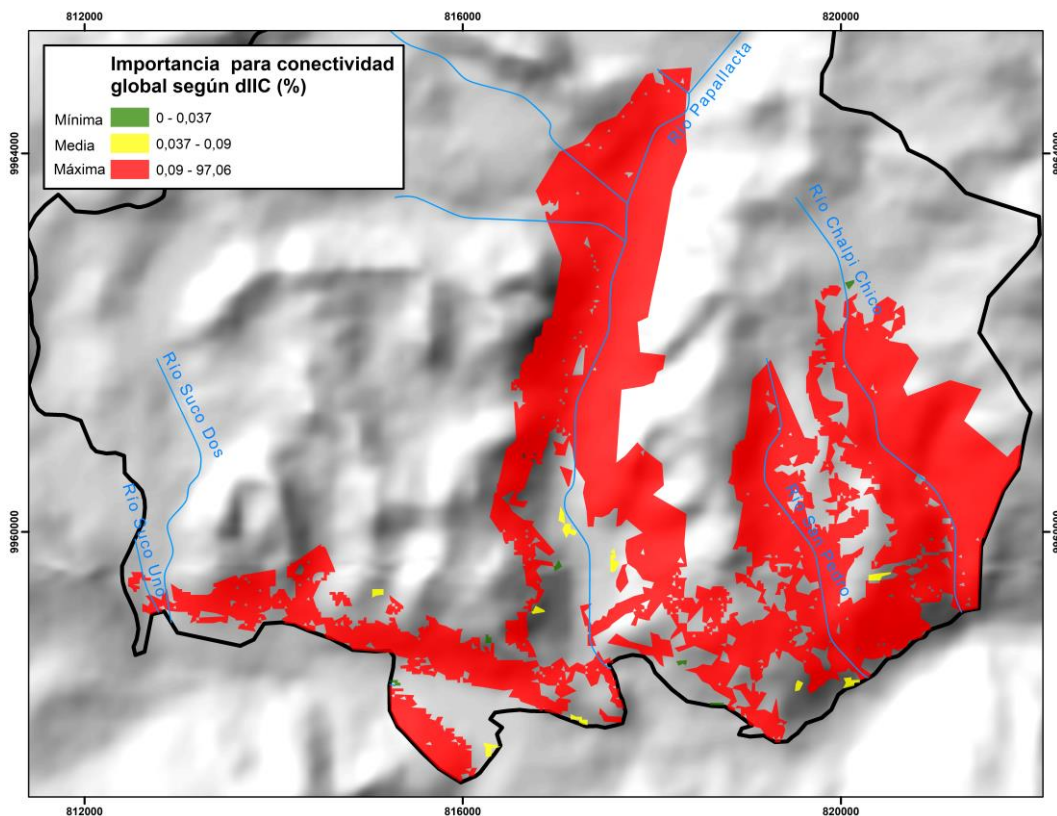


Figura 17. Porcentaje de importancia relativa (dIIC) para 30 parches naturales del ecosistema Bosque nublado.

Estudios similares para la evaluación de la conectividad reportaron que áreas con mayor cobertura forestal como parches situados en el suroeste del estado de Jalisco presentan alta importancia para la conectividad (dIIC) con valores de 73.2%, similarmente, parches forestales que contenían 20 áreas protegidas en Jalisco reflejaron valores altos en conectividad interna del parche (dIICintra) con 89.8% y 20.5% para conexión de flujo (dIICflux) (Villavicencio et al., 2017).

Por otro lado, Carvalho, Pinto, Da Silva y Lima (2019), concluyeron que pastizales y zonas agrícolas del estado de Mato Grosso evaluadas a una distancia menor a 10000 metros, presentaron porcentajes bajos de conexiones entre fragmentos con valores de 22.14% para dIIC, 0.48% dIICintra y 1.92% dIICflux.

Estos datos permiten señalar que, dentro del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca el ecosistema Pasto y Cultivo comprende la matriz de disturbio dentro del paisaje compuesta principalmente por áreas donde se encuentran terrenos agrícolas que limitan la conexión y flujo de organismos entre remanentes del ecosistema Bosque nublado. Por lo tanto, estas zonas son clave para el establecimiento de estrategias que permitan conectar los parches naturales del ecosistema Bosque nublado.

Así lo aseguran Burel y Baudry (2002), mencionando que, uno de los filtros o barrera para el flujo y desplazamiento de dispersores naturales como carábidos de campo son las áreas de cultivos, ya que el movimiento de las especies se ve disminuido al atravesar un seto o un margen agrícola. Del mismo modo, estudios realizados en paisajes antropogénicamente fragmentados han proporcionado evidencia sobre el efecto de la matriz del paisaje y su influencia en la conectividad y mantenimiento de la diversidad de flora y fauna (Harris y Silva-Lopez, 1992; Bayne y Hobson, 1997).

Daily, Ceballos, Pacheco, Suzán y Sánchez (2003), comprobaron este hecho en su estudio en la región costarricense de Las Cruces, donde la mayor parte de los mamíferos nativos no voladores utilizaban la matriz hostil de plantaciones arbustivas maduras de café como extensión de los fragmentos boscosos, por lo cual, los parches de bosque pequeños aumentaron su conectividad por las plantaciones adyacentes, obteniendo riqueza similar a la de los bosques extensos. Es así que, áreas destinadas a pasto y cultivo pueden convertirse en mecanismos que coadyuvan a la conectividad, contrarresten el efecto de aislamiento de los elementos de hábitat y garanticen la heterogeneidad del paisaje.

Adicionalmente, la matriz agraria puede ser transformada mediante corredores ecológicos para convertirse en soporte y mantenimiento de los organismos dentro del paisaje en respuesta al cambio climático y recuperación del Bosque nublado en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca (Hannah, Midgley y Millar, 2002) dado que, un parche pequeño próximo o conectado a una red de corredores tiende a poseer un mayor número de especies, disminuyendo la tasa de extinción de las mismas (Dramstad, Olson y Forman, 2005).

De esta forma, como consecuencia del aislamiento de especies y disminución de las interacciones dentro de los remanentes naturales principalmente por agrosistemas, 24 parches del ecosistema Bosque nublado con dIIC alto y medio, son áreas clave para el establecimiento de estrategias de restauración que faciliten la conectividad entre los fragmentos de estos ecosistemas y garanticen la conexión y mantenimiento flujos de energía y organismos dentro del paisaje natural.

4.2.3 Determinación de nodos de importancia para la conectividad

En base a los valores obtenidos en el análisis de las métricas antes descritas, de los 107 remanentes de Bosque nublado que comprenden el área de estudio dentro del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca, 22 registraron componentes óptimos para ser sitios prioritarios para la restauración ecológica, puesto que presentaron: (1) porcentajes altos de Contraste de Borde ($ECON = 100$), (2) valores considerablemente altos en cuanto al Índice Integral de Conectividad (IIC) y sus fracciones (dIIC_{intra}, dIIC_{flux} y dIIC_{connector}), (3) disponibilidad de hábitat (accesibilidad a rutas y caminos) en el paisaje, (4) tamaño adecuado de parches, (5) proximidad a cuerpos hídricos y (6) pendientes menores a 50 grados (Figura 18).

Es importante mencionar que, de los 22 parches de Bosque nublado considerados como nodos de importancia para la restauración ecológica, se tomaron en cuenta ocho y dos remanentes con porcentajes medios y bajos de importancia para la conectividad (dIIC) respectivamente, puesto que, registraron alto Contraste de

Borde (ECON = 100), además, se encontraban inmersos dentro de la matriz de disturbio (área de pasto y cultivo) y fueron considerados como áreas clave para establecer estrategias de restauración que garanticen la recuperación integral de este ecosistema (Figura 18).

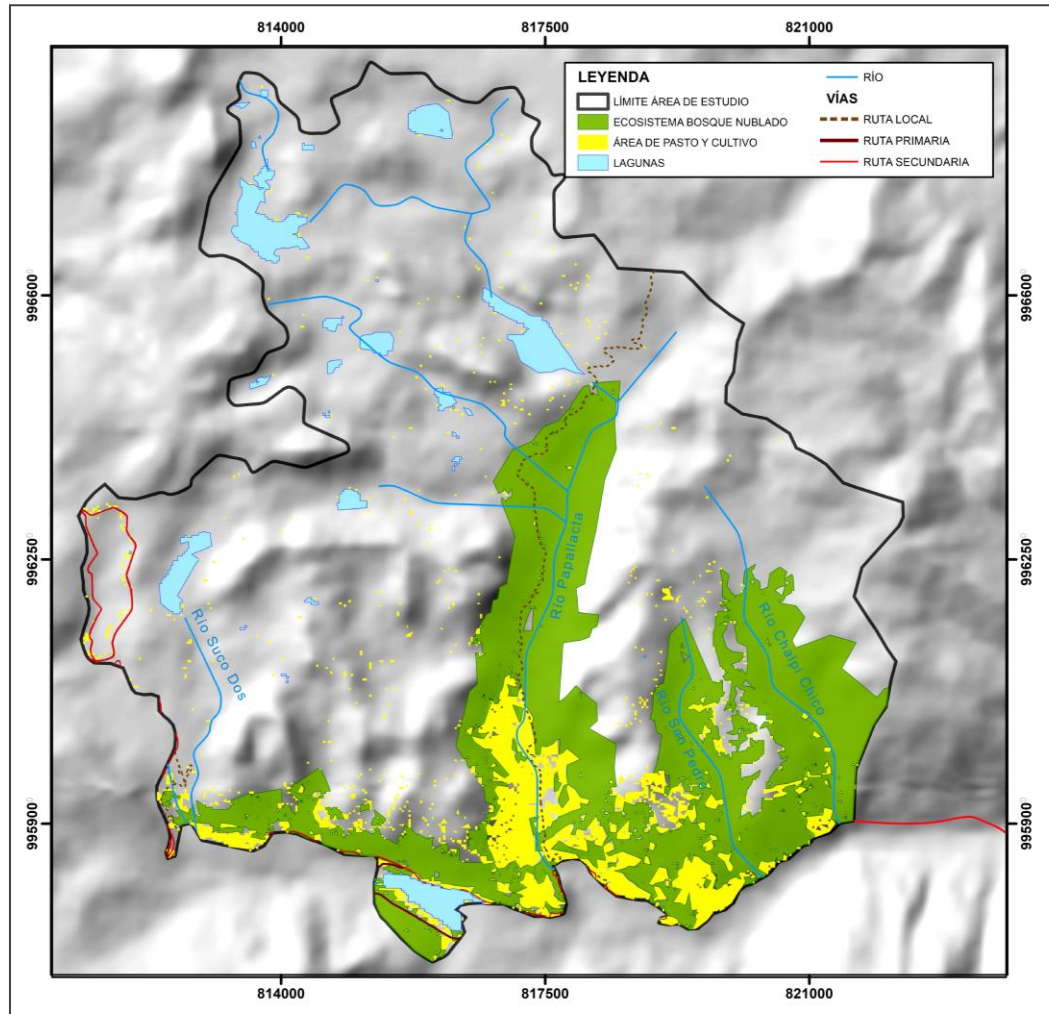


Figura 18. Priorización de nodos de importancia para la restauración ecológica de ecosistema Bosque nublado de acuerdo a valores obtenidos en índice de Contraste de Borde (ECON) e índice Integral de Conectividad (IIC).

Asimismo, Hernández et al., (2015) reportaron que, de las tres métricas de conectividad utilizadas, el IIC permitió revelar los parches que contribuyen a la conectividad del paisaje y los rangos de distribución de dispersión de especies, cuyo mayor flujo de distribución es a 1000 metros de distancia entre parches.

Sin embargo, se atribuye que el rango de distancia de distribución empleado por Hernández et al., (2015) es mayor al de la presente investigación, puesto que su área de estudio es de 10000 hectáreas. Del mismo modo, Villavicencio, Saura, Santiago y Chávez (2009), determinaron que la asociación de bosques y corredores del Sistema Montañoso Volcánico Transversal de Jalisco presentaron 78% del IIC acumulado.

Se considera que, los 22 nodos de importancia del ecosistema Bosque nublado son áreas claves para la restauración ecológica en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca, ya que, presentan alta incidencia factibilidad a la conectividad, comprendiendo áreas en las que el endemismo de especies es alto y, a pesar de estar expuestas a disturbios permanentes, la sucesión natural es posible gracias a los factores biológicos. Harris y Silva (1992), mencionan que, paisajes antropogénizados y fuertemente fragmentados tienen efectos en muchos casos irreversibles en la matriz del paisaje y la conectividad entre las especies, de modo que el mantenimiento de la diversidad de flora y fauna endémicas es sencillamente imposible. Estas problemáticas se evidencian especialmente en bosques andinos y subandinos (Maldonado y Marini, 2004).

Sin embargo, los valores revelados por el IIC permitieron constatar el alto nivel de conectividad entre especies y flujos genéticos que existe entre los 22 remanentes naturales del Bosque nublado, puesto que este varía de 0 a 1 y aumenta a medida que mejora la conectividad (Hernández et al., 2015). Por ende, el elevado grado de conectividad se debe a los nodos de importancia presentes en el ecosistema se encuentran conectados mediante enlaces y, un enlace entre dos nodos indica una conexión funcional con alta posibilidad de movimiento de especies entre ellos (Urban, Minor, Treml y Schick, 2009).

Es así que, para garantizar la restauración ecológica a escala de paisaje en el Bosque nublado del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca, se deben implementar estrategias que permitan conectar los parches de hábitat facilitando la

sucesión natural de las especies en el paisaje actual, ya que estos, actuarán como escalones entre otros parches de hábitat, siendo así el foco principal para las actividades de gestión, restauración y conservación.

- **Establecimiento de sitios potenciales para la restauración**

Para el establecimiento de sitios potenciales para la restauración se tomaron en cuenta los resultados en las métricas de Contraste de Borde (ECON) y Conectividad (IIC, incluida sus fracciones) y serán descritos a continuación.

- *Corredores Ecológicos*

Tomando en consideración los nodos de importancia para la conectividad y con valores altos de Contraste de Borde, el modelamiento espacial de corredores ecológicos permitió crear una red de corredores ecológicos interconectados a través de 25 rutas que conectan los 22 parches del ecosistema Bosque nublado mismos que atraviesan las áreas de Pastos y Cultivos (Figura 19).

Los corredores ecológicos 1, 6, 7, 8, 13, 14, 15, 16, 23, 24 y 25 presentan mayor accesibilidad puesto que se encuentran próximos a caminos locales por lo que establecer ensayos de restauración en dichos puntos se convertiría en una alternativa viable. Además, están próximos a cuerpos de agua lo que facilitaría la sucesión natural de las especies y garantizaría la conectividad de 7717.42 ha del Bosque nublado del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca (Figura 19, Tabla 10).

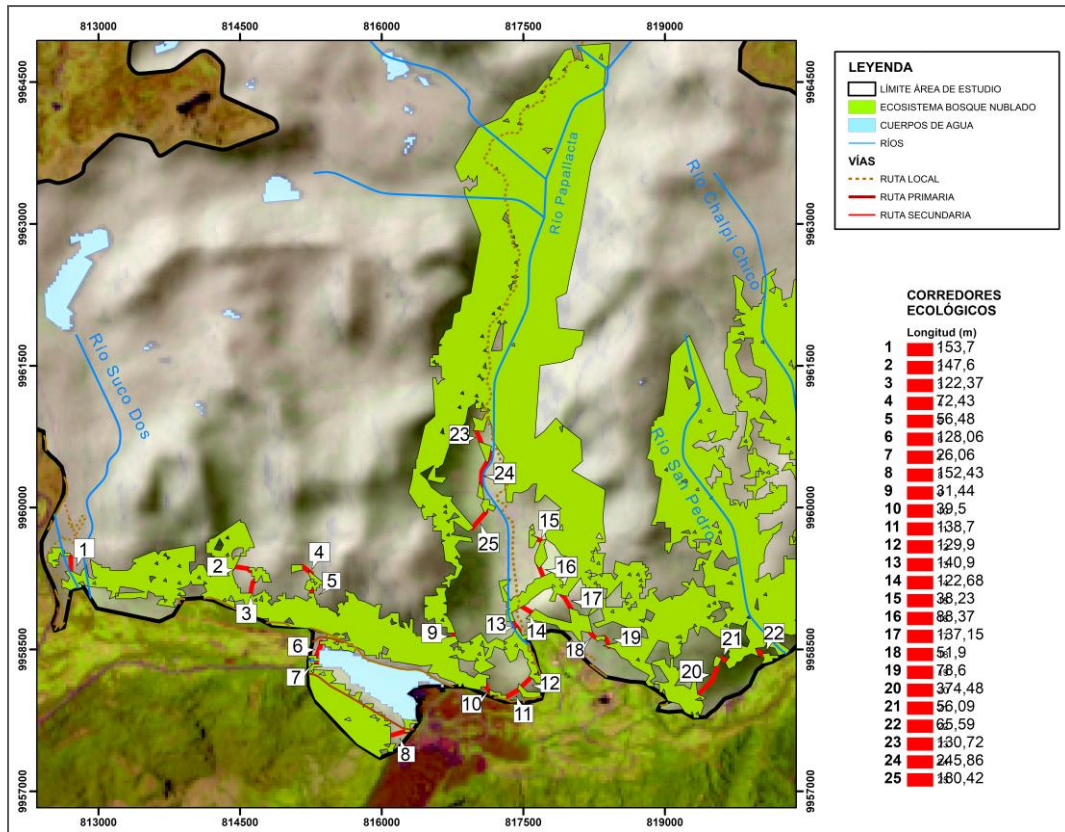


Figura 19. Corredores ecológicos para la conectividad de 22 remanentes de hábitat natural del ecosistema Bosque nublado en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca.

Hernández et al. (2015), reportaron que dentro de su área de estudio diez parches poseen mayor contribución a la conectividad al funcionar como escalones entre otras áreas del hábitat, convirtiéndose así en puntos clave en el ecosistema. Bajo estos conceptos se determinó que, los 25 corredores ecológicos garantizarán la conexión de los 22 remanentes de hábitat del Bosque nublado y a su vez promueven la conservación de otros ecosistemas dentro del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca.

Los 25 corredores ecológicos están dispuestos alrededor de toda la matriz del paisaje de estudio, garantizando así el flujo e intercambio de organismos, por consiguiente, serán los nexos para la conexión y restauración de otros ecosistemas como Bosque siempreverde montano alto del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes y Herbazal de Páramo. En tal sentido, Saura y Rubio (2010),

mencionan que algunos parches dispersos actúan como sitios de paso utilizados para llegar a otros parches de hábitat. Asimismo, corredores ecológicos con ensayos de restauración dispuestos aleatoriamente garantizan y aseguran la recuperación de los atributos ecológicos y la integridad ecológica del paisaje.

No obstante, el ecosistema Pasto y Cultivo constituyó el área de alta prioridad para el establecimiento de corredores ecológicos, puesto que, a pesar de estar situado en menor proporción dentro del área de estudio, tiene gran influencia en la matriz del paisaje, por lo tanto, altera no solo a los parches vecinos sino también a los parches más lejanos, impidiendo la conexión de elementos del paisaje, ya que, la expansión de la frontera agrícola y zonas de pastizales promueven la deforestación (Avon y Bergés, 2016), reduce la conectividad, incrementa la competencia por los recursos alimentarios causando exclusión competitiva entre las especies (Frey-Ehrenbold, Bontadina, Arlettaz y Obrist, 2013) y genera erosión genética de organismos debido al creciente aislamiento de las poblaciones (Carrara et al., 2015).

Por lo tanto, si bien, los agroecosistemas pueden ser utilizados por especies silvestres o el ganado como áreas de alimentación o refugio, contribuyendo en porcentajes mínimos a dispersión de semillas, el elevado incremento de estas zonas puede desencadenar el desequilibrio de toda la red natural que conforma el hotspot de conservación mundial dentro del Parque Nacional Cayambe-Coca.

Es así que, la conjugación y asociación de fragmentos del ecosistema Bosque nublado garantizaría el equilibrio y conservación de otros ecosistemas, que no han sido fuertemente intervenidos como Herbazal de Páramo y Bosque siempreverde montano alto del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes. De modo que, los 25 corredores ecológicos permitirán promover la conectividad, el intercambio de organismos y energía y por ende la restauración de paisajes fragmentados, conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos manteniendo el desarrollo económico de la población.

○ *Ensayos de Restauración*

Tomando en consideración que por cada hectárea de terreno se debe contar con un promedio de 24 núcleos de restauración, dentro de los 25 corredores ecológicos se deberán implementar 175 ensayos de restauración, compuestos principalmente por las estrategias de nucleación mixta según los criterios de López-Barrera (2015) y, Ayala y Camacás (2019). Adicionalmente será necesario 2270 plantas, considerando que cada núcleo cuenta con 13 individuos que deberán estar distribuidos dentro de cada corredor ecológico como lo muestra la tabla 12.

Tabla 12. Número de ensayos de restauración a implementar por cada corredor ecológico para la restauración del ecosistema Bosque nublado

| CORREDOR ECOLÓGICO | LONGITUD (m) | EXTENSIÓN (Ha) | N° DE NÚCLEOS POR CORREDOR ECOLÓGICO | N° DE PLANTAS TOTAL POR CORREDOR ECOLÓGICO |
|---------------------------|---------------------|-----------------------|---|---|
| 1 | 153.7 | 0.38425 | 9 | 120 |
| 2 | 147.6 | 0.369 | 9 | 115 |
| 3 | 122.37 | 0.305925 | 7 | 95 |
| 4 | 72.43 | 0.181075 | 4 | 56 |
| 5 | 56.48 | 0.1412 | 3 | 44 |
| 6 | 128.06 | 0.32015 | 8 | 100 |
| 7 | 26.06 | 0.06515 | 2 | 20 |
| 8 | 152.43 | 0.381075 | 9 | 119 |
| 9 | 31.44 | 0.0786 | 2 | 25 |
| 10 | 39.5 | 0.09875 | 2 | 31 |
| 11 | 138.7 | 0.34675 | 8 | 108 |
| 12 | 129.9 | 0.32475 | 8 | 101 |
| 13 | 140.9 | 0.35225 | 8 | 110 |
| 14 | 122.68 | 0.3067 | 7 | 96 |
| 15 | 38.23 | 0.095575 | 2 | 30 |
| 16 | 88.37 | 0.220925 | 5 | 69 |
| 17 | 137.15 | 0.342875 | 8 | 107 |
| 18 | 51.9 | 0.12975 | 3 | 40 |
| 19 | 78.6 | 0.1965 | 5 | 61 |
| 20 | 374.48 | 0.9362 | 22 | 292 |
| 21 | 56.09 | 0.140225 | 3 | 44 |
| 22 | 65.59 | 0.163975 | 4 | 51 |
| 23 | 130.72 | 0.3268 | 8 | 102 |
| 24 | 245.86 | 0.61465 | 15 | 192 |
| 25 | 180.42 | 0.45105 | 11 | 141 |

4.3 Elaboración de un programa de restauración a escala local y paisaje para el Bosque nublado en Papallacta

En base a los resultados descritos y analizados en literales anteriores del presente capítulo, a continuación se presenta y describe el “PROGRAMA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL ECOSISTEMA BOSQUE NUBLADO DE PAPALLACTA, EN EL HOTSPOT DE CONSERVACIÓN MUNDIAL CAYAMBE-COCA, ECUADOR”, el cual incluye las especies que registraron éxito en cuanto a adaptación, supervivencia y cumplimiento de funciones ecosistémicas, los sitios potenciales a restaurar dentro del área de estudio y actividades complementarias que viabilizarán y garantizan el éxito de la restauración a escala local y de paisaje dentro del ecosistema Bosque nublado de Papallacta, en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca.

4.3.1 Introducción del Programa de Restauración

Los Andes tropicales son considerados como la cuna de la biodiversidad y endemismo (Hoorn et al., 2010). La orografía, su alta diferenciación geológica, junto con sus gradientes altitudinales y latitudinales generan patrones climáticos únicos y dan lugar a diversas condiciones físicas que permiten la formación de mosaicos de hábitats y ecosistemas únicos que albergan a millones de especies (Anderson et al., 2012). Tal es el caso que, se ha documentado aproximadamente 45000 especies de plantas y alrededor de 3400 vertebrados (excepto peces) en los Andes tropicales (Myers, Mittermeier, da Fonseca y Kent, 2000), adicionalmente, millones de personas dependen de estos ecosistemas como fuente de alimento, aprovisionamiento de agua, valores culturales entre otros servicios ecosistémicos (López et al., 2014).

Sin embargo, las tasas de cambio en los ecosistemas a nivel global y en particular en las regiones de América tropical han incrementado, generando principalmente la pérdida del ecosistema boscoso en páramos, punas y bosques montanos (Magrin et al., 2007). En el período 2000-2010 la reducción de bosque natural

alcanzó siete millones de hectáreas, alterando la integridad ecológica de estos paisajes (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2016). La calidad de los ecosistemas en los Andes tropicales están bajo una continua amenaza por las actividades antropogénicas como el aprovechamiento agropecuario y maderero, fuertemente relacionadas con el desarrollo económico lo que provoca el deterioro y pérdida de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Velásquez, 2015).

De manera que, tierras forestales se han convertido en terrenos destinados prioritariamente a producción agropecuaria (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2016). Los efectos que tienen el cambio de uso de suelo sobre los bosques van mucho más allá de la deforestación, degradando y fragmentando estos ecosistemas forestales (Hernández, Rojas y Sánchez, 2013), intensificado la explotación de los recursos naturales y acelerado los procesos de degradación de suelos (Magrin et al., 2007), de manera que, se genera desertificación o colmatación de suelos, afectación a la integridad ecológica, pérdida de las interacciones ecosistémicas, incremento de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera (Ćirić et al., 2012) e incluso la pérdida de valores culturales y estéticos dentro del paisaje (López et al., 2014).

De tal forma que, la restauración es esencial para la conservación de ecosistemas alterados (Brown y Lugo, 1994), ya que es una respuesta para reestablecer, recuperar y reparar las dinámicas ecosistémicas cuando la sucesión o regeneración natural no es posible o necesita de más tiempo (Sánchez et al., 2005) mediante el manejo integrado, sostenible y funcional del paisaje. Por tanto, la restauración ecológica debe ser abordada como un proyecto social amplio, con la expectativa de un futuro mejor, que permita que los ecosistemas sean auto sostenibles (Velásquez, 2015).

La restauración ecológica puede darse a diferentes niveles de organización, que van desde poblaciones de especies a paisaje y distintas extensiones espaciales o escalas, que varían dependiendo del régimen de disturbio y pueden ser a escala

local, regional o de paisaje (Vargas, 2007). La restauración aplicada a escala local y nivel de especie o de comunidad trata de adaptar y recrear el hábitat para permitir la sucesión natural, por lo tanto, las especies claves son prioridad (Vargas, 2011). A nivel de ecosistema, el objetivo radica en recuperar los atributos espaciales del ecosistema mediante la integración de procesos naturales (Herrick, Schuman y Rango, 2006). Mientras que, la restauración a escala de paisaje implica la recuperación de funciones ecosistémicas donde sea posible la conectividad entre parches (Ehrenfeld, 2000).

Con lo antes expuesto, el presente programa de restauración ecológica forma parte de una iniciativa 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”, que pretende implementar alternativas viables y efectivas que permitan recuperar el ecosistema bosque nublado de Papallacta, en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca, cumpliendo con el Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida 2017-2021 “garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones que se fundamenta en el desarrollo sostenible para alcanzar el Buen Vivir” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - SENPLADES, 2017)

4.3.2 Antecedentes

A continuación, se detalla la problemática general y los antecedentes que conllevaron al deterioro del ecosistema Bosque nublado.

4.3.2.1 Antecedentes históricos del sitio

Con la promulgación de la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre en 1981 se creó el Patrimonio Nacional de Áreas Silvestres, actualmente el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), que cuenta con 54 áreas protegidas comprendiendo una superficie de 4 611 849.22 hectáreas (Ministerio del Ambiente, 2015).

El Parque Nacional Cayambe Coca, forma parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador, establecida en un inicio como Reserva Ecológica mediante Acuerdo Ministerial No. 322, del 26 de Julio de 1970 y Decreto No. 818 del 17 de noviembre de 1970 (Ministerio del Ambiente, 2008).

El área protegida se encuentra localizada al Noreste del país, su superficie protege ecosistemas propios de las estribaciones de la Cordillera Oriental de Los Andes y de las llanuras del Pie de Monte subandino y amazónico. Ocupa parte de las provincias de Imbabura, Napo, Pichincha y Sucumbíos, comprendiendo una extensión de 403.103 hectáreas (Ministerio del Ambiente, 2006 y 2008). De tal forma que, es considerada como el área que alberga mayor diversidad de flora y fauna silvestres del país, debido a la elevada representatividad de ecosistemas presentes dentro de las diez zonas de vida, identificadas hasta la presente fecha (Ministerio del Ambiente, 2008; Aldas y Arcos, 2011).

4.3.2.2 Problemática actual en área de estudio

Uno de los ecosistemas en Latinoamérica que más ha sufrido la intervención del ser humano es el bosque nublado (García, Parra y Mena, 2014) a causa del mal uso de la cobertura del suelo, ya que al encontrarse en superficies de mayor pendiente o en laderas a manera de remanentes de bosque son ecosistemas utilizados para actividades agrícolas y ganaderas (Suárez, 2008). Esta degradación del paisaje altera los patrones físicos, fisiológicos y de sincronía de las especies (Bach y Gradstein, 2007).

De acuerdo a lo anterior, la perturbación en el bosque nublado del Parque Nacional Cayambe-Coca, específicamente en la zona de Papallacta ha alcanzado niveles muy altos, a causa del cambio de uso de suelo generado por el pastoreo intensivo, la expansión agrícola, la introducción de especies, el aprovechamiento maderero e incluso la caza furtiva (Cumba et al., 2008 y Ministerio del Ambiente, 2008). Los efectos que generan estas actividades inciden directamente sobre el ecosistema, evidenciándose pérdida del ecosistema boscoso, colmatación de los

suelos, deterioro de la biodiversidad y servicios ecosistémicos, reducción de la calidad de los ecosistemas, alteración de la integridad ecológica del paisaje y la pérdida de las interacciones ecosistémicas (Bendix y Rafiqpoor, 2014).

4.3.3 Metas del Programa de Restauración

- Restauración integral de 17252.552 hectáreas de terrenos alterados por factores antropológicos.
- Fomentar la restauración colaborativa basada en la ciencia.
- Apoyar la sostenibilidad de la parroquia Papallacta.
- Aprovechar los recursos locales, nacionales y privados.
- Lograr la supervivencia al 70% de especies.

4.3.4. Objetivos del Programa de Restauración

De acuerdo con la problemática presentada los objetivos detallados a continuación contribuirán a la recuperación del ecosistema Bosque nublado.

4.3.4.1 Objetivo general del Programa de Restauración

Implementar estrategias de restauración ecológica que permitan conservar los servicios ecosistémicos del bosque nublado de Papallacta, en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca.

4.3.4.2 Objetivos específicos del Programa de Restauración

- Restaurar áreas y zonas de protección que permitan generar conectividad entre fragmentos de bosque nativo relevantes para la conservación de la biodiversidad.
- Generar conciencia ambiental a través de un diagnóstico participativo, promoviendo el conocimiento local de la comunidad.

- Promover el desarrollo local sustentable basado en la conservación del bosque nublado de Papallacta.

4.3.5 Área de estudio del Programa de Restauración

El área de estudio fue determinada en base a los criterios de delimitación presentados en el capítulo II de la investigación.

4.3.5.1 Localización

El área de restauración se encuentra localizada dentro de los límites del Parque Nacional Cayambe-Coca, aproximadamente a 58Km al este de la ciudad de Quito. Políticamente se ubica en la región amazónica del Ecuador, Cantón Quijos Provincia del Napo (Tituaña et al., 2017), de tal manera que comprende un área de 7717.42 hectáreas (Figura 20).

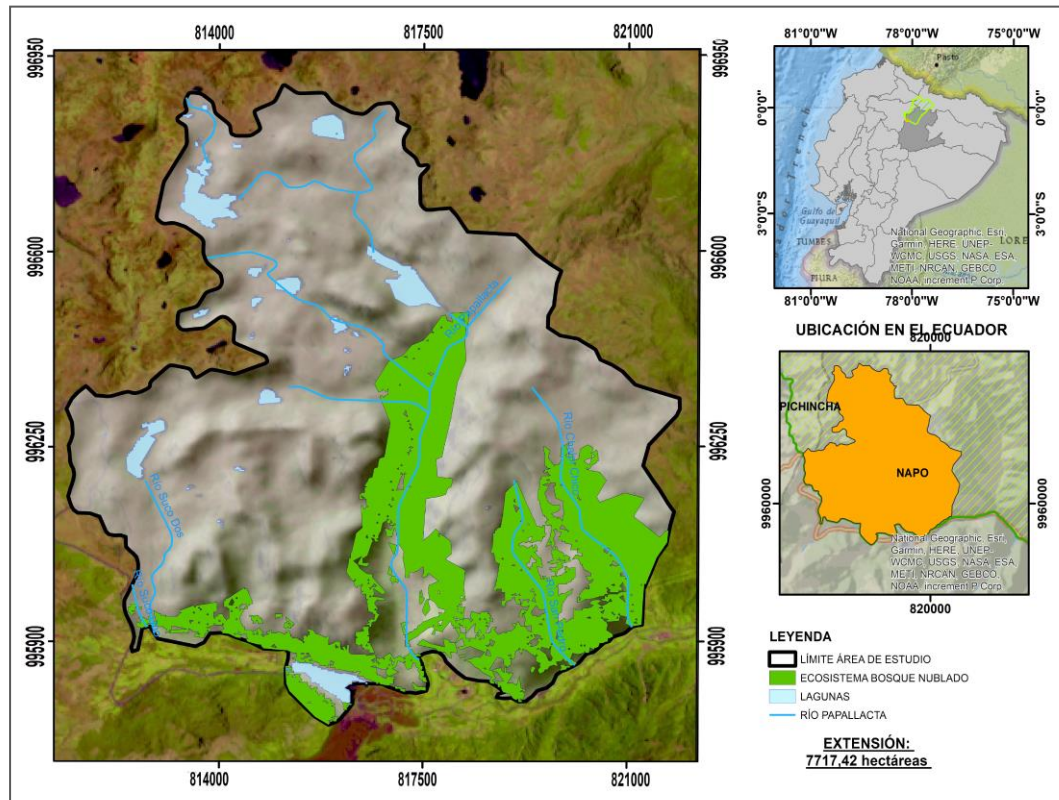


Figura 20. Ubicación Área de estudio en el Parque Nacional Cayambe-Coca, Papallacta.

4.3.5.2 Límites

Limita al Norte con el cantón el Chaco de la parroquia de Oyacachi, al Sur con el cantón Archidona, al Este con la parroquia de Cuyuja y al Oeste con el Distrito Metropolitano de Quito (Tituaña et al., 2017) (Figura 20).

4.3.5.3 Características físico-geográficas

Las características físico-geográficas comprenden los aspectos, atributos y elementos estéticos y de composición, estructura y función que presenta el paisaje.

- Geomorfología

El área del proyecto al localizarse dentro de localiza las montañas andinas presenta topografía muy accidentada con pendientes dominantes de 40 a 70%, asociadas a zonas escarpadas y pequeñas áreas planas con pendientes entre el 2 al 7%. Geomorfológicamente es un paisaje glaciar, que por efecto del deshielo produjo erosión y movimiento en masa del material geológico, formando morrenas de diferente altura, espesor y longitud, cuyas geoformas presentan características de: (1) colinas medias y altas de cimas agudas con rocas volcánicas andesíticas con pendientes superiores al 70%; (2) colinas bajas redondeadas con pendientes de 25 y 40%. El deshielo de los glaciares produjo a su vez, la formación de lagunas glaciares, así como algunos valles glaciares (Aldas y Arcos, 2011).

- Hidrología

Los tres son los ríos más importantes que comprenden el área de estudio son Oyacachi, Papallacta y Chalpi, a estos alimentan numerosos riachuelos y quebradas que nacen sobre los 3800 y 4100 m s.n.m. (Tituaña et al., 2017). Sin embargo, el proyecto, forma parte de la cuenca del río Papallacta.

Adicionalmente, por la orografía y los efectos de las glaciaciones se ha conformado un importante sistema lacustre y con la presencia de grandes zonas pantanosas (Aldas y Arcos, 2011).

- **Climas**

El Proyecto se encuentra ubicado entre los 3000 y 4100 m s.n.m. presentando características propias del ecosistema bosque nublado con climas como (1) ecuatorial frío húmedo donde la temperatura promedio es de 8 a 12 grados centígrados y la precipitación media anual es mayor a 1000 mm; (2) clima de alta montaña con temperatura promedio entre 2 y 8 grados centígrados y precipitación media anual mayor a 500 mm y (3) clima nival con temperatura promedio menor a 2 grados centígrados y precipitación media anual mayor a 500 mm (Tituaña et al., 2017). No obstante, Las estaciones climáticas varían de acuerdo a las épocas del año, la temporada invernal transcurre durante los meses de mayo a septiembre y la época de verano de octubre hasta abril (Ministerio del Ambiente, 2008; Aldas y Arcos, 2011).

El promedio de precipitación anual es de aproximadamente 1446mm.

- **Humedad Relativa**

La zona de Papallacta se caracteriza por una alta humedad relativa durante todo el año y el promedio anual es de 93% teniendo un máximo de 94% y un mínimo de 92% (Ministerio del Ambiente, 2008).

- **Nubosidad**

La Nubosidad anual promedio es de seis octavos en la zona de Papallacta, por lo que se determina que en el área del proyecto el cielo permanece parcialmente nublado en tres cuartas partes (Aldas y Arcos, 2011).

4.3.5.4 Características biológicas

Dos tipos de vegetación natural predominan en la zona de Papallacta, (1) el Bosque siempre verde montano alto, ubicado en rangos altitudinales que van desde 3000 a 3500 m s.n.m, equivalentes a cuatro zonas de vida Bosque Húmedo y Muy Húmedos Montanos, Bosque Pluvial Montano y Bosque Nublado; (2) Páramo herbáceo (pajonal y almohadillas) ubicado en rangos altitudinales desde 3500 a 4100 m s.n.m., comprendidos por zonas de vida de Bosques Muy Húmedos Montano y Subalpino, Bosque Pluvial Subalpino y Páramo Herbáceo.

La vegetación que predomina la zona es nativa riparia y de bosque entre las más representativas se identifica *Oreopanax ecuadorensis*, *Polylepis incana*, *Buddleja incana*, *Cedrela odorata L*, *Cordia alliodora* y gran cantidad de especies vasculares. En la parte más alta se identifican especies características del páramo como pajonales, almohadillas, chuquiraguas, musgos, romerillos, achupallas y mortiños que conforman la cuenca del Río Papallacta. Este tipo de vegetación es el más grande dentro de la Reserva, ocupa el 25.87% del total del área protegida (Aldas y Arcos, 2011; Tituaña et al., 2017).

4.3.5.5 Atractivos turísticos

La actividad turística dentro de Papallacta tiene alta importancia, sin embargo, esta fomentada con inversionistas privadas, puesto que, a pesar de existir algunas facilidades turísticas dentro del Área Protegida, no son utilizadas y su manejo es limitado (Ministerio del Ambiente, 2008).

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Papallacta 2020 (2017), entre los principales atractivos y actividades que generan mayor ingreso a la comunidad local están, La Virgen del Páramo, Laguna de Papallacta, las aguas termales y medicinales de Jamanco (complejo turístico), Santa Catalina (complejo turístico), Termas de Papallacta, y el sistema lacustre del sector, conformado por

aproximadamente 60 lagunas ubicadas en el Parque Nacional Cayambe-Coca. Las lagunas abiertas para el turismo son cinco como lo muestra la tabla 13.

Tabla 13. Lagunas destinadas al turismo en zona de Papallacta

| Nombre del sitio | Extensión (ha) | Altura (m s.n.m.) |
|-------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Laguna de Baños | 6 | 3800 |
| Laguna de Antejos | 4 | 4060 |
| Laguna de Parcacocha | 4.6 | 4060 |
| Laguna de Loreto | 46.8 | 3780 |
| Laguna de Mogotes | 35.9 | 3972 |

Fuente: Adaptado del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Papallacta 2020 (2017).

4.3.6 Justificación

El programa de restauración comprende una superficie de 7717.42 hectáreas delimitadas basándose en tres criterios: (1) estar localizada dentro de la zona de amortiguamiento del área de alta prioridad de conservación mundial, Parque Nacional Cayambe-Coca, (2) estar dentro de los pisos altitudinales de 3100 m s.n.m. hasta 4200 m s.n.m. y (3) las divisorias de aguas naturales de las zonas (Figura 21).

De acuerdo al análisis del uso y cobertura vegetal del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca, el área de restauración se clasificó mediante el análisis de una imagen satelital del año 2017 y bajo las directrices del Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013), sintetizando dos clases de coberturas dentro de la zona forestales y no forestales, comprendidas en seis tipos y uso de cobertura vegetal, tales como, Herbazal del Páramo, Bosque siempreverde montano alto del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes, Bosque nublado, Pastos y cultivo, Cuerpos de agua y Área urbana (Figura 21).

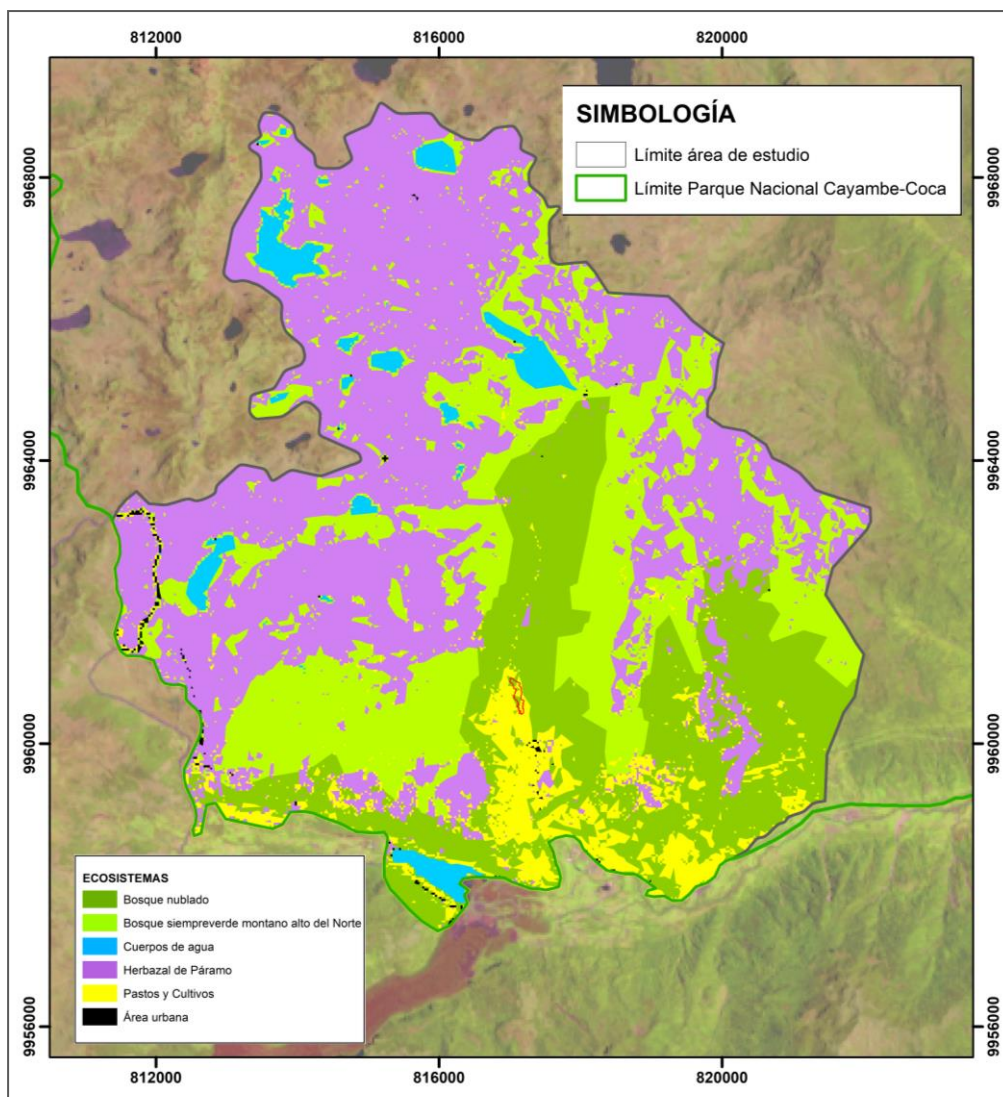


Figura 21. Ecosistemas de acuerdo al tipo y uso de cobertura vegetal dentro del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca.

En este programa se implementarán diferentes estrategias, las cuales permitirán restaurar las áreas destinadas a pasto y cultivo, cuyos atributos ecológicos del paisaje alteran la dinámica natural del paisaje. Además, se conservará los servicios ecosistémicos e integridad ecológica de los ecosistemas Herbazal de Páramo, Bosque siempreverde montano alto del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes y Bosque nublado en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca, mediante creación de una red de 25 corredores ecológicos, los mismos que contarán con la siembra de especies nativas de *Alnus acuminata*, *Morella pubescens*, *Polylepis incana* y *Oreopanax ecuadorensis*, a través de prácticas ecológicas sustentables y uso de prácticas agroecológicas.

4.3.6.1 Efectividad de especies idóneas

Tomando en cuenta las características y las especies propias de cada uno de los ecosistemas que comprende la zona de restauración y en concordancia a los resultados de la evaluación de efectividad de la restauración del Bosque nublado de Papallacta implementada por el 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”, se determinó que las especies *Alnus acuminata*, *Morella pubescens*, *Polylepis incana* y *Oreopanax ecuadorensis* son óptimas para la restauración ecológica en la zona, puesto que, presentan tendencias de crecimiento, supervivencia y adaptación altamente significativas.

❖ *Alnus acuminata*

Familia: BETULACEAE

Nombre científico: *Alnus acuminata* Kunth

Nombre común: Aliso

Localizada en altitudes desde los 2000 a los 3100 m s.n.m. Distribuida en regiones de ceja de monte, bosques montanos nublados y regiones altoandinas, se adapta a diversos tipos de suelos y condiciones de humedad (Salazar, 2000). Presentó una probabilidad de supervivencia en el ecosistema 100%, por lo cual su crecimiento es ascendente y progresivo en relación al tiempo (Figura 22).



Figura 22. Especie *Alnus acuminata* idónea para ensayos de restauración en el Bosque nublado de Papallacta.

❖ *Morella pubescens*

Familia: MYRICACEAE

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

Nombre común: Laurel de cera

Distribuida ampliamente en Sudamérica, 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 (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015). Presentó una probabilidad de supervivencia en el ecosistema del 100%, por lo cual su crecimiento es ascendente y progresivo en relación con el tiempo (Figura 23).



Figura 23. Especie *Morella pubescens* idónea para ensayos de restauración en el Bosque nublado de Papallacta.

❖ *Polylepis incana*

Familia: ROSACEAE

Nombre científico: *Polylepis incana* Kunth

Nombre común: Polylepis

Distribuida en altitudes desde los 3500 m s.n.m hasta 4500 m s.n.m. En Ecuador en la región andina (Volcán Illiniza), en las provincias de Pichincha (Corredor Machachi), Napo, Imbabura y Carchi (Ministerio del Ambiente del Ecuador y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015 y Brandbyge, 1991). Presentó una probabilidad de supervivencia en el ecosistema del 94%, por lo cual su crecimiento es ascendente y progresivo en relación con el tiempo (Figura 24).



Figura 24. Especie *Polylepis incana* idónea para ensayos de restauración en el Bosque nublado de Papallacta.

❖ *Oreopanax ecuadorensis*

Familia: ARALIACEAE

Nombre científico: *Oreopanax ecuadorensis* Seem.

Nombre común: Pumamaqui

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 (León-Yáñez et al., 2011). Presentó una probabilidad de supervivencia en el ecosistema del 95%, sin embargo, es una especie de sucesión tardía que se desarrolla muy bien en semisombra (Suárez, 2008) (Figura 25).



Figura 25. Especie *Oreopanax ecuadorensis* idónea para ensayos de restauración en el Bosque nublado de Papallacta.

4.3.6.2 Priorización de sitios potenciales de restauración

Para la determinación de las zonas idóneas (más afectadas y con mayor porcentaje de conectividad) en las que se deben aplicar los protocolos de restauración, el 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” evaluó los parches naturales aislados y alterados principalmente por zonas de Pasto y Cultivo dentro del paisaje.

Es así que, se identificó 22 áreas con gran incidencia para la conectividad, las mismas que constituyen zonas indispensables implementar ensayos de restauración (áreas de color verde en Figura 26), por lo cual establecer los protocolos de restauración en estos sitios garantizará la conectividad y regeneración de 7717.42 hectáreas que comprende el presente programa.

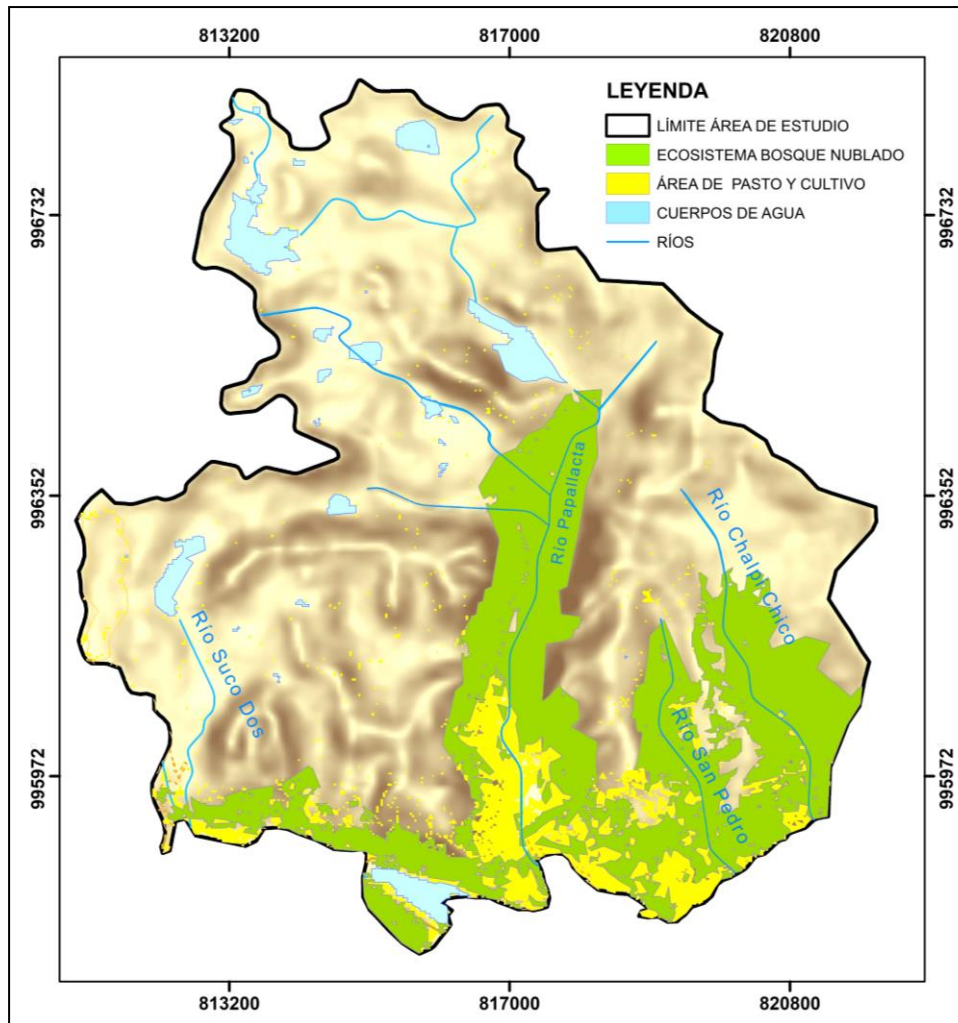


Figura 26. Nodos de importancia de acuerdo con el Índice Integral de Conectividad (IIC) para conectividad de remanentes del ecosistema Bosque nublado aislados por áreas de pasto y cultivo dentro del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca.

Para garantizar la conectividad de los 22 parches del ecosistema Bosque nublado se deberá implementar una red de corredores ecológicos interconectados a través de 25 rutas que en su mayoría atraviesan las áreas de Pastos y Cultivos (Figura 22), estos presentan gran potencial en cuanto accesibilidad puesto que, se encuentran próximos a caminos locales por lo que establecer ensayos de restauración en dichos puntos se convertiría en una alternativa viable. Además, están próximos a cuerpos de agua lo que facilitaría la sucesión natural de las especies y garantizaría la conectividad del paisaje (Figura 27).

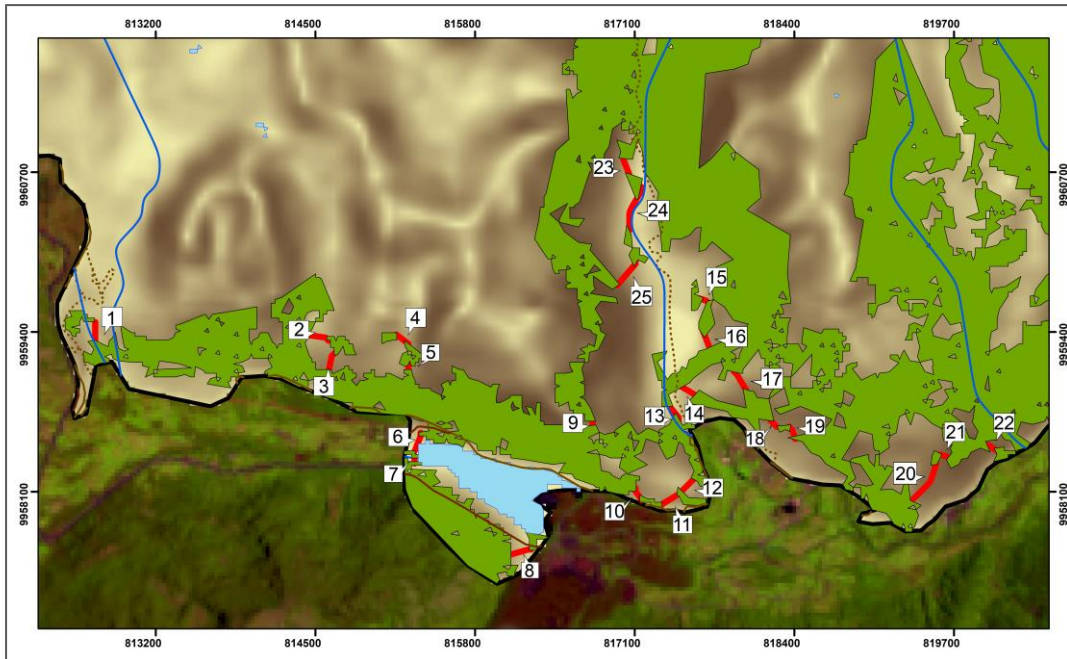


Figura 27. Corredores ecológicos para la conectividad de 22 remanentes de hábitat natural del ecosistema Bosque nublado en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca.

4.3.6.3 Eficacia del ensayos y tratamientos

De acuerdo a lo descrito anteriormente, es indispensable que estas cuatro especies sean utilizadas en los protocolos de restauración, para lo cual deberán pasar por las fases descritas a continuación como medidas compensatorias del impacto negativo a la vegetación y al suelo, logrando en cierta forma recuperar la calidad paisajística del sitio y la efectividad de la restauración:

- **Adquisición de plantas**

El presente programa de reforestación utilizará especies nativas como *Alnus acuminata*, *Morella pubescens*, *Polylepis incana* y *Oreopanax ecuadorensis* con el objetivo de recrear una cobertura vegetal similar a la que puede encontrarse en las áreas naturales cercanas. Las especies deben ser adquiridas de viveros que recrean condiciones ambientales propias de la zona, con rangos altitudinales comprendidos entre los 3100 m s.n.m. hasta 4200 m s.n.m.

Las técnicas utilizadas en los viveros determinarán la calidad morfológica y fisiológica de las plántulas producidas y la adaptación en el terreno frente a

condiciones de estrés actuales y futuras. Cabe mencionar que, la calidad de las semillas y los tratamientos para estimular la germinación de las plantas son aspectos a tener en cuenta (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017).

En base al Informe Nro. 39 del Programa Nacional de Restauración Forestal el costo de las plantas dependerá básicamente del tipo de especie y el vivero a contratar, por lo cual se deberá hacer una cotización de por lo menos seis viveros, por lo cual, en la tabla 14 se detallan los costos promedio de las especies a utilizarse en el proyecto (Ministerio del Ambiente, 2017):

Tabla 14. Valores de costo promedio de plantas por individuo en viveros del Ecuador

| ESPECIE | COSTO PROMEDIO POR INDIVIDUO (DÓLARES) |
|-------------------------------|---|
| <i>Alnus acuminata</i> | 0.35 |
| <i>Morella pubescens</i> | 0.34 |
| <i>Polylepis incana</i> | 0.33 |
| <i>Oreopanax ecuadorensis</i> | 0.35 |

Fuente: Adaptado del Informe Nro. 39 del Programa Nacional de Restauración Forestal (Ministerio del Ambiente, 2017).

Adicionalmente, es recomendable que las plántulas y semillas sean manejadas en viveros locales, que permitan a la población incrementar su conocimiento en cuanto a recursos naturales y obtener réditos económicos a través de la venta de estas especies. Asimismo, es esencial la comunicación y coordinación entre los profesionales de la restauración a cargo, los responsables de la gestión de viveros y los proveedores de semillas, puesto que, en la fase de planificación, los profesionales de la restauración deberán informar y guiar a los responsables de los viveros sobre las particularidades y necesidades de las semillas y materiales para la propagación vegetativa como esquejes, y colaborar con la identificación de los proveedores de insumos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017).

- **Adaptación de las plantas**

Una vez adquiridas las plantas, con el propósito de asegurar su desarrollo, estas se dispondrán una semana en el sitio, a fin de adaptarlas a las condiciones mediante el proceso de aclimatación. Aún en sus fundas negras (contenedor), se deberá realizar un regado de forma manual para evitar su marchitamiento (Vargas, 2011; Borja, Chanona y López, 2017).

- **Apertura de hoyos**

El terreno de plantación debe prepararse excavando hoyos de por lo menos 30 cm de diámetro y 40 cm de profundidad, se realizará de forma manual con una pala recta. Se deberá tener cuidado especial al separar cada capa superficial del suelo para colocarlo en el fondo del hoyo al momento de plantar, el arreglo topológico será a una distancia de aproximadamente un metro entre planta y planta, formando un patrón romboidal (Figura 28) con este tipo de diseño se logra minimizar el arrastre de suelo, aprovechar los escurrimientos y garantizar la sucesión y dispersión de semillas (Cardoza et al., 2014; López-Barrera, 2015).

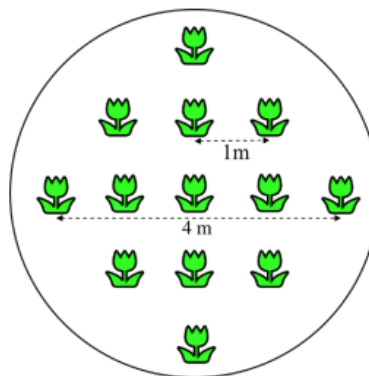


Figura 28. Distancias (metros) y patrones de distribución entre plantas dentro de sitio de restauración.

- **Plantación**

El período de plantación debe estar bien planificado, de modo que las plántulas estén listas para su plantación en el momento más apropiado, con una etapa de desarrollo adecuado de las raíces para que puedan sobrevivir a los primeros períodos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017). Cabe mencionar que, debido a las condiciones climáticas de la zona las especies podrán ser plantadas en cualquier época del año.

Según Borja et al., (2017) la siembra de las plantas de preferencia debe realizarse en la mañana o por la tarde, cuando la temperatura no es muy elevada evitando el marchitamiento, además, se deberá tener en cuenta que:

- El suelo extraído del hoyo deberá ser mezclado con materia orgánica (aproximadamente el 25%).
- Se debe colocar la plántula en el hoyo y llenar los espacios laterales con el sustrato, procurando que no queden espacios de aire y que el sustrato esté compacto.
- La planta deberá quedar al mismo nivel topográfico, evitando que esta quede hundida o bajo el nivel de suelo.
- Cuando las plantas estén en funda, debe retirarse con mucho cuidado para evitar que el sustrato se deshaga.
- Cuando las plantas presenten raíz desnuda, se deberá procurar que las raíces no queden dobladas.
- Antes de sembrar es importante verificar que los hoyos no se encuentren saturados de agua.

Adicionalmente, las especies deberán ser plantadas bajo los criterios de López-Barrera (2015); Ayala y Camacás (2019), referente a la estrategia nucleación mixta, que consiste en la siembra agrupada de distintas especies en zonas estratégicas del paisaje, promoviendo la sucesión natural

y colonización de especies. Para esta estrategia se emplearán 13 plantas distribuidas de forma aleatoria como se muestra en la figura 29.

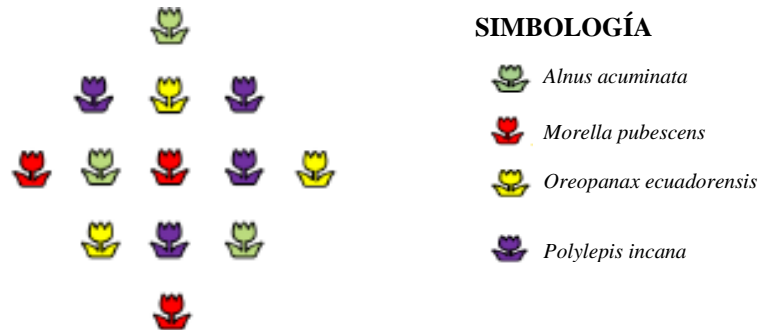


Figura 29. Distribución de acuerdo a cada especie en sitios de restauración.

4.3.6.4 Diseño de corredores ecológicos

Para garantizar la conectividad de los ecosistemas dentro del paisaje natural del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca, las áreas de Pasto y Cultivo serán transformadas a zonas de restauración mediante corredores ecológicos cuyo objetivo convertirse en soporte y mantenimiento de los organismos dentro del paisaje, permitiendo así la sucesión natural de las especies y la conectividad de remanentes naturales aislados dentro de la matriz (Figura 30).

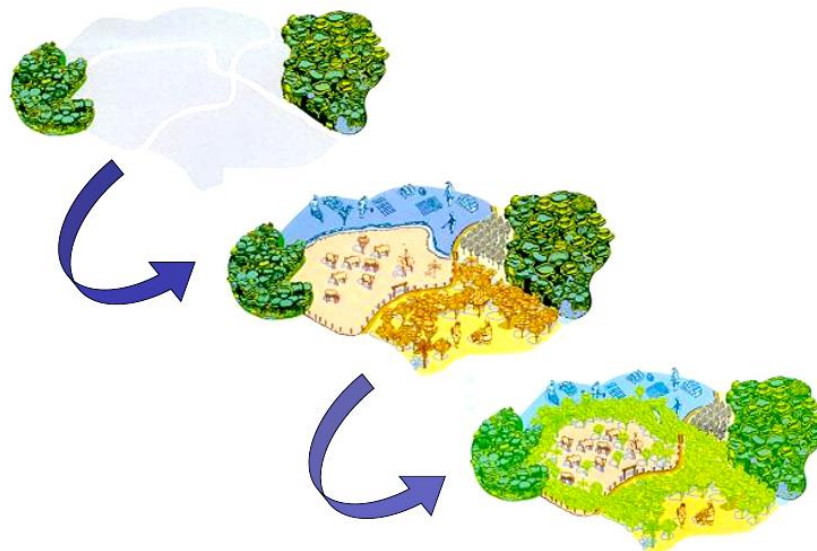


Figura 30. Transformación de áreas de Pasto y Cultivo para conectividad de remanentes.

(Adaptado de Sancho, 2016).

Cada corredor ecológico contará con un ancho promedio de 25 metros, garantizando así la dispersión de especies mediante el tránsito de especies dispersoras. Cabe mencionar que, cada corredor ecológico contará con el número de núcleos y por ende de plantas dependiendo de la extensión del mismo (Tabla 15).

Tabla 15. Número de ensayos de restauración a implementar por cada corredor ecológico para la restauración del hotspot de conservación mundial dentro del Parque Nacional Cayambe-Coca

| CORREDOR ECOLÓGICO | EXTENSIÓN (Ha) | N° DE NÚCLEOS POR CORREDOR ECOLÓGICO | N° DE PLANTAS TOTAL POR CORREDOR ECOLÓGICO |
|---------------------------|-----------------------|---|---|
| 1 | 0,38425 | 9 | 120 |
| 2 | 0,369 | 9 | 115 |
| 3 | 0,305925 | 7 | 95 |
| 4 | 0,181075 | 4 | 56 |
| 5 | 0,1412 | 3 | 44 |
| 6 | 0,32015 | 8 | 100 |
| 7 | 0,06515 | 2 | 20 |
| 8 | 0,381075 | 9 | 119 |
| 9 | 0,0786 | 2 | 25 |
| 10 | 0,09875 | 2 | 31 |
| 11 | 0,34675 | 8 | 108 |
| 12 | 0,32475 | 8 | 101 |
| 13 | 0,35225 | 8 | 110 |
| 14 | 0,3067 | 7 | 96 |
| 15 | 0,095575 | 2 | 30 |
| 16 | 0,220925 | 5 | 69 |
| 17 | 0,342875 | 8 | 107 |
| 18 | 0,12975 | 3 | 40 |
| 19 | 0,1965 | 5 | 61 |
| 20 | 0,9362 | 22 | 292 |
| 21 | 0,140225 | 3 | 44 |
| 22 | 0,163975 | 4 | 51 |
| 23 | 0,3268 | 8 | 102 |
| 24 | 0,61465 | 15 | 192 |
| 25 | 0,45105 | 11 | 141 |

4.3.6.5 Propuesta de pilotos de monitoreo

Mediante el proceso de monitoreo se pretende evaluar periódicamente no solo los atributos del ecosistema, sino también las condiciones socioeconómicas representativas y relevantes que adquiere la población local dentro del área natural protegida del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca (Aguilar y Ramírez, 2015). Los datos generados permitirán definir una línea base y establecer las tendencias y patrones de cambio a lo largo del tiempo, con el objetivo de evaluar los cambios favorables o desfavorables en el ecosistema (Galindo, López y López, 2008).

El monitoreo deberá llevarse a cabo a través de diferentes espacios de tiempo, (a corto, mediano y largo plazo) con el fin de evaluar si las técnicas o estrategias de restauración propuestas, cumplen con los objetivos de la restauración de acuerdo a los diseñados y metas (Vargas, 2007). Para este proceso, es de vital importancia la apropiación de las áreas restauradas por parte de los pobladores locales, puesto que, garantizará el control contante de la adaptación de las especies y la incidencia de plagas y/o enfermedades.

- Monitoreo a corto plazo

Se evaluará la supervivencia y crecimiento de especies de manera mensual a partir de la plantación de las especies durante tres meses. Los datos se registrarán en fichas de campo (Anexo 4), de manera general para cada sitio de restauración. Es decir, se registrará las categorías de supervivencia como viva o muerta, adicionalmente, se colocará observaciones importantes como la presencia de plagas, pérdida de hojas, marchitamiento, o cualquier característica inicial que se evidencia en observación en campo.

- Monitoreo a mediano plazo

Se realizará el seguimiento y control de las especies a los 12 meses posterior a la plantación durante cinco años. Los datos se registraron en fichas de

campo (Anexo 4). Además, se registrará la incidencia de especies nuevas o colonizadores, que permitan conocer la efectividad de la restauración en cuanto a conectividad.

- **Monitoreo a largo plazo**

En esta fase, no solo se evaluará la supervivencia y crecimiento de las especies, sino también, la formación de nuevos parches y áreas que han sido regeneradas por los procesos naturales de sucesión y colonización de especies. Este monitoreo se realizará posterior a los cinco años después de la plantación de las especies (Tabla 16).

Tabla 16. Descripción general de la ficha de campo para registro de supervivencia y crecimiento de especies

| Campo | Descripción | Rango |
|----------------------|---|---|
| Fecha | Fecha de toma de datos en campo | Día/Mes/Año |
| Sitio | Área total compuesta por núcleos | Sitio 1, Sitio 2, Sitio 3, Sitio 4 |
| Monitoreo | Número de visita de monitoreo | M1, M2, M3, M4 |
| Estado | Número de individuos en sitio vivos o muertos | 11 Vivas, 2 muertas |
| Observaciones | Característica inusual que presente la planta | Especie enferma, quemada, rota, en latencia |
| Nota | Número de fotografía evidencial de la observación | IMG_20180711 |

Fuente: Modificado de Chamblas, (2015).

Para el monitoreo a largo plazo, se aplicará un análisis del paisaje mediante las métricas de contraste de borde y conectividad. Se clasificará los distintos tipos de uso y cobertura vegetal dentro del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca, de analizando imágenes satelitales correspondientes a ese período. La clasificación se basará en dos criterios:

(1) representación de la imagen satelital actual y, (2) reclasificación bajo las directrices del Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013), toda información se procesará mediante el software ArcGis 10.4.

○ Conectividad:

Permitirá conocer y explicar las tendencias temporales y la variabilidad del paisaje a través del tiempo (Saura y Rubio, 2010; Saura et al., 2011) en cuanto a patrones espaciales del paisaje, dispersión de especies y flujo de genes y organismos (Bennett, 2003) permitiendo conocer el grado de éxito de la restauración. Es así que, para esta métrica se calculará el Índice Integral de Conectividad (IIC) (9), con la finalidad de estimar cuantitativamente la conectividad de cada sitio de restauración con respecto al paisaje (Baranyi, Saura, Podani, Jordán, 2011; Hernández, et al., 2015).

El índice fue calculado a través de la fórmula:

$$IIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i \cdot a_j}{1 + nl_{ij}}}{A_L^2} \quad (9)$$

Donde:

ai: área de cada parche de hábitat

nl_{ij}: número de enlaces en la ruta más corta (distancia topológica) entre parches i y j

n: número total de parches de hábitat en el paisaje

AL: área total del paisaje

Adicionalmente, para conocer el alcance de los beneficios de la restauración para los pobladores locales, se aplicarán indicadores socioeconómicos en las tres escalas del monitoreo que permitirán conocer el número de beneficiarios involucrados (Tabla 17).

Tabla 17. Indicadores socioeconómicos para monitoreo de efectividad de restauración en Bosque nublado de Papallacta, en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca

| ESCALA TEMPORAL | CRITERIO | CUANTIFICADORES |
|---|---|---|
| Indicador: Pobladores locales involucrados en el proyecto de restauración | | |
| Corto, Mediano y Largo Plazo | Participación colaborativa | Número de individuos y grupos de beneficiarios involucrados en el diseño, implementación y monitoreo del proyecto. Número de personas que participan voluntariamente en el monitoreo. |
| Indicador: Generación de empleo y oportunidades de negocio | | |
| Corto Plazo | Sostenibilidad comunitaria e Impactos y resultados económicos | Número de jornales que se invierten en el proceso de restauración. Número de personas beneficiadas con oportunidades de negocio. Ingresos generados a través de negocios la producción de plántulas o insumos. |
| Mediano Plazo | | Número de negocios que persisten después de finalizar la ejecución del proyecto. |
| Largo Plazo | | Número de negocios estables que persisten en el tiempo (viveros comunitarios, oferta de servicios de siembra y mantenimiento de plantaciones). |
| Indicador: Fortalecimiento de capacidades locales y generación de conocimiento | | |
| Corto Plazo | Percepción de conservación ecológica | Número de personas capacitadas a través del proyecto de restauración . Número de actores locales involucrados en procesos de monitoreo o investigación en las áreas en proceso de restauración. |
| Mediano Plazo | | Número de personas que cambian su modo de generación de ingresos gracias al aprendizaje de técnicas de restauración. |
| Largo Plazo | | Número de personas o grupos comunitarios en capacidad de asesorar a otras comunidades en procesos de restauración. Compromiso de la comunidad vecina con el área restaurada (iniciativas de protección, educación ambiental y uso sostenible). |

Fuente: Adaptado de Egan y Estrada, (2013); Aguilar y Ramírez, (2015).

4.3.7 Plan de Actividades Adicionales

El plan de actividades adicionales contempla estrategias y mecanismos que permiten controlar, reducir y mejorar factores y actividades que limitan y favorecen la recuperación integral del ecosistema Bosque nublado.

4.3.7.1 Manejo de factores limitantes o estresantes

La búsqueda de más tierras para apacentar el ganado ha sido causa de la destrucción de bosques tropicales particularmente en América Latina (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017). Este, como muchos, es el caso de Papallacta donde el cambio de uso de suelo ha alcanzado niveles tan altos que, tierras forestales han perdido sus atributos ecológicos al convertirse en zonas de pastizales. Por tal motivo, uno de los factores que limita la recuperación integral del ecosistema Bosque Nublado es el mal manejo de ganado, de modo que a continuación se describen alternativas que permitirán manejar y controlar estos factores limitantes y estresantes:

- Cercas: este sistema es una de las medidas más viables debido a que resulta una solución práctica y económica para el control de ganado ya que permite incrementar las utilidades y ganancias minimizando costos de producción, además, permite mejorar prácticas de manejo y tener un mayor control pecuario. Por otro lado, facilita la sucesión natural de las especies puesto que, el crecimiento y rotación de cosechas es posible (Aranguéz et al., 2000; Esquivel, 2009).

4.3.7.2 Implementación de viveros comunitarios

Las estructuras técnicas, como viveros comunitarios o de aldea, facilitan el suministro local y la transferencia de conocimientos, entre los profesionales de la restauración y los conocimientos locales y tradicionales de miembros de las comunidades, siendo así, uno de los métodos de regeneración más eficaces y

rentables (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017).

Las técnicas utilizadas en los viveros determinarán la calidad de las plántulas en cuanto a la calidad morfológica y fisiológica de las plantas producidas, además, el desempeño en el terreno como la adaptación a las condiciones de estrés actuales y a los futuros cambios climáticos. Estos, son factores importantes en la resiliencia de las especies, la calidad de las semillas y los tratamientos para estimular la germinación (Gómez, 2011; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017).

Se le considera vivero al área destinada a la producción de plantas forestales y frutales, en el que se le proporciona los cuidados óptimos previo a la plantación definitiva (Rodríguez, 2010). Cabe mencionar que, el éxito o fracaso de un vivero, depende principalmente del compromiso que la comunidad asuma en cuanto al cuidado y mantenimiento de las especies (Gómez, 2011).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2017), menciona que, es primordial iniciar los viveros en pequeña escala con un total de 2000 a 2500 plantas. Adicionalmente, existen múltiples ventajas al contar con viveros comunitarios dentro de la zona de restauración ya que:

- Se reducen costos de traslado de árboles al estar cerca
- Las plantas están adaptadas al clima de las comunidades.
- Se promueve la participación de toda la comunidad en el proceso de establecimiento del vivero, generando fuentes de ingreso e incrementando el conocimiento local.

Para el establecimiento de los viveros comunitarios se deberán tener en cuenta cinco aspectos:

- **Ubicación y preparación del lugar:** es necesario que la zona del vivero tenga una ligera inclinación que facilite el drenaje del agua, además, se

deberá considerar que este cerca de una fuente de agua y deberá estar cercada para evitar la entrada de animales y protegerlo del viento (Arriaga, Cervantes y Vargas, 1994).

- **Preparación del sustrato para llenar las fundas:** se necesitará preparar un sustrato con dos partes de tierra negra, una parte de arena y una parte de abono orgánico (bocashi), para la germinación adecuada de las semillas (Gómez, 2011).

- **Preparación del Semillero:** contará de tres capas de una capa de 10 cm de espesor cada una, en el fondo de terrones o piedras pequeñas para facilitar el drenaje de agua y evitar encharcamientos, seguida de tierra negra mezclada con abono orgánico (bocashi) y en la parte superior se colocará una capa de arena fina (Napoles y Cruz, 2005). Las semillas deberán ser distribuidas uniformemente sobre la superficie y cubiertas con una capa superficial de tierra con abono. Al iniciar la germinación debemos evitar que reciban los rayos del sol de forma directa (Gómez, 2011).

- **El Transplante a las fundas:** se realizará cuando las plántulas tengan hojas verdaderas. No se trasplantará a fundas plantas enfermas o deformes. En la funda se deberá abrir un agujero en el centro y después del transplante se recomienda regar todos los días por la mañana y por la tarde durante 2 semanas (Padilla, 1983; Gómez, 2011).

- **Mantenimiento del vivero:** el mantenimiento de las plántulas y del vivero, dependerán del riego y el deshierbe, debido a la alta competencia por recursos (agua, luz y nutrientes) al que se ven sometidas las especies (Padilla, 1983).

El método de Producción de Plantas que se manejará en el vivero propuesto por el presente programa es la producción en fundas ordenadas en bancales (Figura 31), permitiendo que las plantas pueden sobrevivir entre un 85 a 95% (Gómez, 2011).



Figura 31. Método de producción de plantas en fundas ordenadas en bancales para vivero.

Un aspecto importante que se manejará dentro del vivero comunitario es la recolección de semillas, ya que permitirá autosustentar la estructura técnica y garantiza el aprovisionamiento de especies, además de mejorar y conservar los recursos genéticos locales. Se debe tener en cuenta que, la recolección de semillas se debe hacer cuando la semilla está madura, posterior a ello, deberán someterse a proceso de secado al aire libre, bajo sombra. Y finalmente, se realizará la germinación de las especies, ya sea por escarificación Mecánica (quebrar la semilla sin dañar el embrión) o escarificación física (sumergir en agua a 80°C) (Escobar, Armbrrecht y Calle, 2007; Gómez, 2011).

4.3.7.3 Implementación de prácticas agroecológicas

La agroecología surge como una alternativa integral que maneja los recursos naturales y es considerada desde una perspectiva ecológica para la restauración del equilibrio de los agroecosistemas o chacras familiares (Cufre, Rodríguez y Pagliaricci, 2002). En este contexto, se pretende incluir dentro del área de restauración zonas para la producción agrícola manejada bajo los preceptos de la agricultura limpia, imitando los procesos ecológicos de la naturaleza, a través de un manejo de los recursos locales que promuevan la sustentabilidad (Merino, Avalos, Jordan y Eras, 2011), para ello se ha propuesto cuatro alternativas:

- **Asociación y rotación de cultivos**

Mediante la asociación de cultivos dos o más especies de plantas (alimentarias) se siembran lo suficientemente próximas para que se complementen entre sí, principalmente en el aporte de nutrientes, preparación del suelo y erradicación de plagas (Figura 32). Mientras que, la técnica de rotación de cultivos permitirá evitar el agotamiento y desgaste del suelo y aportarán nutrientes al mismo (Rodríguez y Zavaleta, 2001).



Figura 32. Práctica agroecológica de asociación de cultivos en Papallacta.

- **Cultivos en terrazas**

Debido a que la topografía de la zona de resaturación y las áreas destinadas a cultivos dentro del Bosque nublado de Papallacta en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca, presenta pendientes elevadas, se recomienda que las áreas de cultivo sean manejadas bajo los criterios de construcción en plataformas continuas y escalonadas, con el objeto de evitar la erosión del suelo, el arrastre de sedimentos y lixiviación de nutrientes (Colín, Hernández y Monroy, 2012).

- **Uso de abonos orgánicos**

Se recomienda el uso principalmente de bocashi, que utiliza como materia prima los desechos vegetales y la majada del ganado vacuno y bovino. Según Ortega (2012), el uso de bocashi nutre al suelo de manera adecuada, gracias al trabajo de los microorganismos que descomponen la materia orgánica, permitiendo la asimilación de los nutrientes en las plantas y un rápido crecimiento de la misma en el próximo cultivo.

- **Agroforestería**

La práctica agroforestal de sistemas Silvopastoriles, consiste en asociar áreas para el pastoreo de ganado, con árboles y arbustos forrajeros o de sombra (Gómez, 2011). Cabe mencionar que, esta alternativa deberá realizarse cuando las especies hayan alcanzado su madurez.

4.3.8 Beneficios y resultados esperados

El objetivo del presente programa de restauración radica en implementar estrategias de restauración ecológica que permitan conservar los servicios ecosistémicos del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca, para lo cual, la metodología utilizada garantizará la recuperación de los atributos ecológicos de los ecosistemas naturales que comprenden las 7717.42 hectáreas de restauración, en un período de diez años, mediante la implementación de una red compuesta por 25 corredores ecológicos y la plantación de 2270 individuos pertenecientes a las especies *Alnus acuminata*, *Morella pubescens*, *Polylepis incana* y *Oreopanax ecuadorensis* dentro de 175 núcleos, que conectarán 22 sitios de restauración.

Adicionalmente, se pretende generar fuentes de ingreso y empleo para el 45% de la población local mediante el incremento del desarrollo turístico de la zona, creación de iniciativas locales, incremento de la producción local mediante prácticas agroecológicas.

Cabe mencionar que, el fin del PROGRAMA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL ECOSISTEMA BOSQUE NUBLADO DE PAPALLACTA, EN EL HOTSPOT DE CONSERVACIÓN MUNDIAL CAYAMBE-COCA, ECUADOR, radica en la integración y sincronía entre la restauración ecológica de áreas alteradas por Pastos y Cultivos y la creación de alternativas viables que permitan el desarrollo económico y social de la parroquia Papallacta sin alterar los patrones espaciales del paisaje (Figura 33).

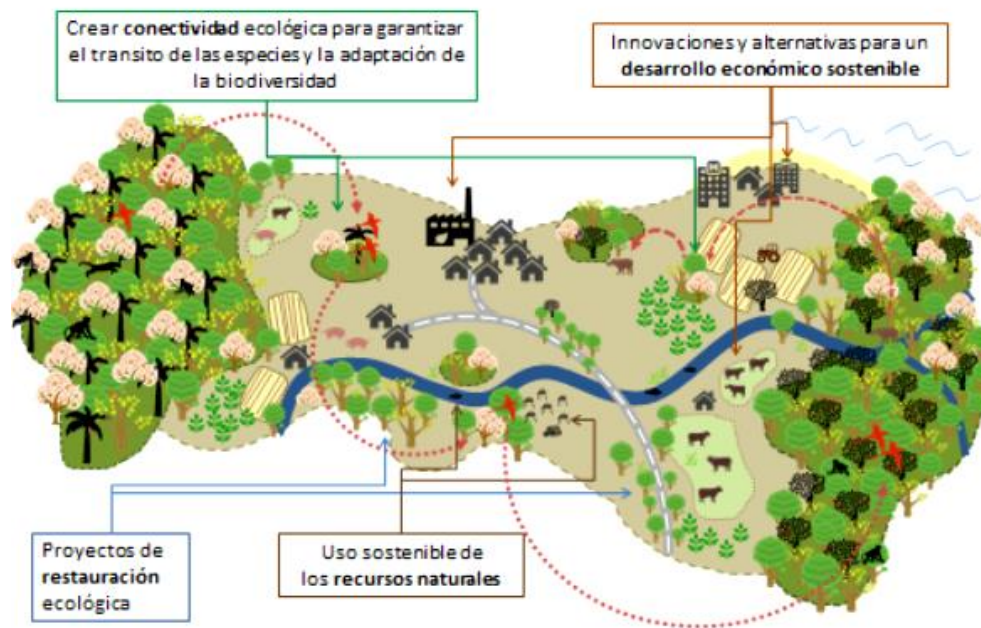


Figura 33. Integración de corredores ecológicos y zonas de desarrollo económico y social dentro de área de estudio del Programa de Restauración Ecológica en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca. (Adaptado de Sancho, 2016).

4.3.9 Difusión

En primera instancia la información y socialización del PROGRAMA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL ECOSISTEMA BOSQUE NUBLADO DE PAPALLACTA, EN EL HOTSPOT DE CONSERVACIÓN MUNDIAL CAYAMBE-COCA, ECUADOR realizará a través ponencias de comunicación y actividades de carácter informativo a los organismos gubernamentales y no gubernamentales competentes.

Posteriormente, se desarrollarán y aplicarán campañas permanentes con los medios de comunicación masiva, dirigida a grupos conservacionistas, financiadores potenciales y visitantes, informando sobre la importancia Bosque nublado de Papallacta, en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca, a fin de promover su participación en los esfuerzos de conservación del área.

Se realizarán talleres informativos y educativos (trípticos, carteles, videos, periódicos murales) que permitan sensibilizar y socializar el programa a los pobladores, haciendo énfasis en la conservación de los recursos naturales del área, así como sobre la importancia de contar con su participación y apoyo en esas actividades y los beneficios socioeconómicos que brindará el proyecto.

4.3.10 Responsables y Cronograma

Las entidades gubernamentales que deberán asumir las responsabilidades y toma de conciencia del programa de restauración son el Gobierno Autónomo Descentralizado de Papallacta como eje fundamental, que trabajará en conjunto con el Ministerio del Ambiente.

La iniciativa será difundida a otros GADs parroquiales cantonales, ministerios y carteras de Estado asociadas con la finalidad de que se sumen al proyecto. Asimismo, se fomentará y trabajará con Organismos e Institutos Nacionales como el Fondo para la protección del Agua (FONAG), el Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO). Adicionalmente, es fundamental e indispensable el trabajo en conjunto entre miembros de la academia y los pobladores locales.

Cabe mencionar que, el programa 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” dirigido por el CUYCIT de la Universidad Técnica del Norte.

A continuación, se muestra el cronograma de actividades y resultados esperado.

| Actividades | PROGRAMA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL ECOSISTEMA BOSQUE NUBLADO DE PAPALLACTA, EN EL HOTSPOT DE CONSERVACIÓN MUNDIAL CAYAMBE-COCA, ECUADOR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----|----|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|------|------|------|------|------|------|--|------|------|--------------|
| | 2019 | | | 2020 | | | | | | | | | | | | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | Responsables |
| | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | | | | | | | | | |
| Búsqueda de financiamiento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | GAD Papallacta, UTN | | | |
| Socialización del programa de restauración | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | GAD Papallacta, UTN, MAE | | | |
| Implementación de vivero | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | GAD y comunidad Papallacta, UTN, MAE | | | |
| Obtención de especies | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | MAE, GAD Papallacta, FONAG | | | |
| Plantación de 3000 individuos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | GAD y comunidad Papallacta, UTN, MAE | | | |
| Evaluación de supervivencia de especies | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | GAD y comunidad Papallacta, UTN, MAE | | | |
| Implementación de prácticas agroecológicas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | GAD y comunidad Papallacta, UTN, MAE | | | |
| Monitoreo a corto plazo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | GAD y comunidad Papallacta, UTN, MAE, | | | |
| Monitoreo a mediano y largo plazo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | GAD y comunidad Papallacta, UTN, MAE, INABIO | | | |

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El 92.63% de los individuos plantados presentaron supervivencia ya que, de 312 individuos plantados en junio de 2017 (inicio del proyecto de restauración), 289 tuvieron condiciones sanas y aceptables dentro del ecosistema.
- Las especies *Alnus acuminata*, *Morella pubescens*, *Polylepis incana* y *Oreopanax ecuadorensis* mostraron tendencias de crecimiento, supervivencia y adaptación óptimas para la restauración dentro del ecosistema Bosque nublado del área prioritaria de conservación mundial Cayambe-Coca.
- El crecimiento y supervivencia de las especies *Cedrela montana* y *Juglans neotropica* disminuyó a partir del primer mes de monitoreo debido a la presencia de organismos barrenadores y defoliadores naturales que desgastan las hojas y tallos de estas especies.
- De 107 remanentes de Bosque nublado que comprenden el área de estudio dentro del hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca, 22 registraron componentes óptimos para ser sitios prioritarios para la restauración ecológica, ya que presentan porcentajes altos de contraste de borde (ECON) y conectividad (IIC).
- El Programa “Restauración Ecológica del ecosistema Bosque nublado de Papallacta, en el hotspot de conservación mundial Cayambe-Coca, Ecuador” implementa estrategias de restauración ecológica que permiten conservar los servicios ecosistémicos del hotspot de conservación mundial

Cayambe-Coca, a través de una red compuesta por 25 corredores ecológicos y la plantación de 2270 individuos pertenecientes a las especies *Alnus acuminata*, *Morella pubescens*, *Polylepis incana* y *Oreopanax ecuadorensis* dentro de 175 núcleos, garantizando la recuperación de los atributos ecológicos de los ecosistemas naturales que comprenden las 7717.42 hectáreas de área de estudio en un período de diez años.

5.2 Recomendaciones

- El método de medición de altura total de la planta para la especie *Oreopanax ecuadorensis* deberá realizarse desde el ras del suelo hasta el final del tallo principal, ya que esta especie presenta constante cambio y pérdida de hojas y peciolo.
- *Cedrela montana* y *Junglans netropica* deben ser plantadas en áreas con incidencia directa al sol, dentro de áreas con asociación de especie realizando el deshierbe del área puesto que, los insectos meristemáticos atacan principalmente durante los dos y tres años de vida de las plantas.
- Realizar análisis de la configuración espacial de los hábitats previo a la implementación de los ensayos ya que permitirá determinar las especies idóneas para la restauración en cada ecosistema y las sensibles al borde de los parches.
- La priorización de nodos de importancia para la conectividad se debe establecer en base a los niveles más altos de las fracciones de dIIC y relacionarlos con los valores de altos de ECON, para definir las áreas de mayor influencia para la restauración.
- Los corredores ecológicos deben contar con un buffer de 100 metros, para garantizar la conexión ecosistémica y facilitar el tránsito de especies dispersoras.

- El Parque Nacional Cayambe-Coca y la empresa Termas Papallacta deben realizar un estudio constante de la carga turística de la zona, evitando así saturar al entorno y alterar sus funciones ecosistémicas.

REFERENCIAS

- Abouhamad, S., Rojas, M., Méndez, J., Salazar, K. y Sálmerón, A. (2016). Servicios ecosistémicos de regulación que benefician a la sociedad y su relación con la restauración ecológica. *Biocenosis*, 31(1-2), 80-92.
- Adriaensen, F., Chardon, J., De Blust, G., Swinnen, E., Villalba, S., Gulinck, H. y Matthysen, E. (2003). The application of 'least cost' modeling as a functional landscape model. *Landscape Urban Plan*, 64, 233–247.
- Aguirre, N., Günter, S. y Stimm, B. (2007). Mejoramiento de la propagación de especies forestales nativas del bosque montano en el Sur del Ecuador. *Estudios Universitarios*, 8, 220-247.
- Aguirre, N., Torres, J. y Velasco, P. (2013). *Guía para la restauración ecológica en los páramos del Antisana*. Quito-Ecuador: Fondo para la Protección del Agua (FONAG).
- Aldas, J. y Arcos, L. (2011). *Evaluación del impacto ambiental ocasionado por las actividades ecoturísticas en el Sendero "El Agua y la Vida" y diseño de un plan ecoturístico*. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Andreasen, J. (2001). Considerations for the development of a terrestrial index of ecological integrity, *Ecological Indicators*, 1(1), 21-35.
- Aranguéz, T., Moreno, R., Navarro, A., Porrás, C. y Prieto, T. (2000). Cercas para el Ganado. *Hajas Divulgadas*, 13, 54-74.
- Armenteras, D. y Vargas, O. (2016). Patrones del paisaje y escenarios de restauración: acercando escalas. *Acta biol*, 21(1), 229-239.
- Aronson, J., Milton, S. y Blignaut, J. (2007). *Restoring Natural Capital: Science, business and practice*. Washington, Island Press.
- Asamblea Nacional de la República del Ecuador (2008). Decreto Legislativo. No. 0. Constitución de la República del Ecuador 2008. Publicada en *Registro Oficial* No. 449, del 20 de octubre de 2008. Ecuador.
- Asamblea Nacional de la República del Ecuador (2017). Código s/n. Código Orgánico del Ambiente (COA). Publicado en *Registro Oficial Suplemento* No. 983 del 12 de abril de 2017. Ecuador.

- Ataroff, M. (2000). Selvas y Bosques de montaña. En M. Aguilera, A. Azocar y E. González (Eds.), *Biodiversidad en Venezuela*. (pp.124-163). Venezuela: CONICIT-Fundación Polar.
- Ataroff, M. (2001). Bosques Nublados del Neotrópico. En: M. Kappelle y A. Brown (Eds.), *Venezuela actual*. (pp. 397-442.). Costa Rica: IMBIO.
- Avon, C. y Bergés, L. (2016). Prioritization of habitat patches for landscape connectivity conservation differs between least-cost and resistance distances. *Landscape ecology*, 31(7), 1551-1565.
- Ayala, B. y Camacás, M. (2019). *Efectividad de Estrategias de Restauración Ecológica en el ecosistema Bosque nublado en el Área de Alta Prioridad de Conservación Mundial Cayambe Coca, Ecuador*. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Ayma, A., Lovera, P. y Soto, G. (2017). Sobrevivencia y crecimiento de plántulas reforestadas de *Podocarpus glomeratus* (*Podocarpaceae*) en diferentes altitudes y micrositios en ecosistemas de pastizales de los Andes bolivianos después de cuatro años. *Ecología Austral*, 27(1), 63-71.
- Bach, K. y Gradstein, R. (2007). Cambio hipsométrico de la vegetación en un Bosque nublado de los Yungas de Bolivia – metodología y cinturones altitudinales. *Ecología en Bolivia*, 42(2). 83-101.
- Baranyi, G., Saura, S., Podani, J. y Jordán, F. (2011). Contribution of habitat patches to network connectivity: Redundancy and uniqueness of topological indices. *Ecological Indicators*, 11(5), 1301–1310.
- Bayne, E. y Hobson, K. (1997). Comparing the effects of landscape fragmentation by forestry and agriculture on predation of artificial nests. *Conservation Biology*, 11(6), 1418-1429.
- Bendix, J. y Rafiqpoor, M. (2014). Studies on the thermal conditions of soils at the upper tree line in the paramo of Papallacta (eastern cordillera of Ecuador). *Erdkunde*, 55(3), 257-276.
- Bennett, A. (2003). *Linkages in the landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation*. Gland, Switzerland, Cambridge: IUCN.

- 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). Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador.
- Bodin, Ö. y Saura, S. (2010). Ranking individual habitat patches as connectivity providers: Integrating network analysis and patch removal experiments. *Ecol. Model*, 221, 2393–2405.
- Brown, A. y Kappelle, M. (2001). Introducción a los bosques nublados del neotrópico: una síntesis regional. En: A. Brown y M. Kappelle (Eds.), *Bosques nublados del neotrópico.* (pp. 25-40). Santo Domingo de Heredia: Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio).
- Brown, S. y Lugo, A. (1994). Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining. *Restoration Ecology*, 2(2), 90-110.
- Burel, F. y J. Baudry. (2002). *Ecología del paisaje. Conceptos, Métodos y Aplicaciones.* Madrid: Mundi-Prensa.
- Bush, M., Restrepo, A. y Collins, A. (2014). Galápagos history, restoration, and a shifted baseline. *Restoration Ecology* 22(3), 296-298.
- Cantos, C.G. (2014). *Caracterización estructural y propuesta de restauración del bosque nativo de la comuna El Pital, Zona de Amortiguamiento del Parque Nacional Machalilla, Ecuador.* (Tesis de Doctorado). Universidad de Pinar del río “Hermanos Saiz Montes de Oca”, Cuba.
- Caranqui, J. (2017). Árboles y arbustos nativos potenciales para reforestación en la Sierra Central de Ecuador. *Enfoque UTE*, 8(5), 103-109.
- Carrara, E., Arroyo, V., Vega, J., Schondube, J., de Freitas, S. y Fahrig, L. (2015). Impact of landscape composition and configuration on forest specialist and generalist bird species in the fragmented Lacandona rainforest, Mexico. *Biological Conservation*, 184, 117-126.
- Carvalho, R., Pinto, M., Da Silva, C., Lima, M. (2019). Conectividade da paisagem em matriz de pecuária e agricultura no norte do estado de Mato Grosso. *Galoá proceedingd*, 3, 14-17.

- Castañeda, M., Inga, J. y Arizapana, M. (2013). Aplicación de cuatro modelos de crecimiento a series dendrocronológicas de *Cedrela montana* (Meliaceae) - Comunidad Nativa de Shaani, región Ucayali, Perú. *Xilema*, 26(1), (48-56).
- Castillo, N. y Castro, B. (1989). *Estudio dendrológico y fenológico de las principales especies forestales nativas del cantón Saraguro*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
- Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas (CESA). (1989). *Especies forestales nativas de los Andes ecuatorianos: resultados preliminares de algunas experiencias*. Quito, Ecuador: ISBN
- 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.
- Chassot, O. y Morera, C. (2007). *Corredores Bioógicos: acercamiento conceptual y experiencias en América*. San José, Costa Rica: Centro Científico Tropical Universidad Nacional de Costa Rica.
- Cintrón, B. (1990). *Cedrela odorata* L. En R. M. Burns, B. H. Honkala. (Eds.) *Silvics of North America: 2*. (pp. 501-654). Washington, DC: Hardwoods. Agric. Handbook.
- Ćirić, V., Manojlović, M., Belić, M., Nešić, L. y Šeremešić, S. (2012). Effects of land use conversion on soil aggregate stability and organic carbon in different soils. *Agrociencia*, 47(6), 539-552.
- Clewell, A. y Aronson, J. (2013). *Ecological restoration: Principles, values and structure of an emerging profession*. (2da. Ed.), Washington, EE.UU: Island Press.
- Colorado, G. J., Vásquez, J. L. y Mazo, I. N. (2017). Modelo de conectividad ecológica de fragmentos de bosque Andino en Santa Elena (Medellín, Colombia). *Acta biológica Colombiana*, 22(3), 379-393.
- Crawley, M. (2015). *Statistics an introduction using R* (2da. Ed.), London: John Wiley & Sons,Ltd.

- Cui, N., Feng, C., Wang, D., Li, J. y Guo, L. (2018). The Effects of Rapid Urbanization on Forest Landscape Connectivity in Zhuhai City, China. *Sustainability*, 10(10), 3381.
- Cumba, L., Bundschuh, J., Aguirre, V., Murgueitio, E., Tipán, I. y Chávez, C. (2008). The origin of arsenic in Waters and sediments from Papallacta lake area in Ecuador. En J. Bundschuh, M. Armienta, P. Birkle, P. Bhattacharya, J. Matschullat y A. Mukherjee (Ed.), *Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America: Arsenic in the environment*. (pp. 81-89). London: CRC Press.
- Daily, G., Ceballos, G., Pacheco, J., Suzán, G. y Sánchez, A. (2003). Countryside biogeography of neotropical mammals: conservation opportunities in agricultural landscapes of Costa Rica. *Conservation Biology*, 17(6), 1814-1826.
- Díaz, V. P. (2009). Errores estadísticos frecuentes al comparar dos poblaciones independientes. *Chilena de nutrición*, 36(4), 1136-1138.
- Dramstad, E., Olson, J. y Forman, R. (2005). *Principios de ecología del paisaje en arquitectura del paisaje y planificación territorial*. España: Fundación Conde del Valle de Salazar.
- Dudley, N. (2008). *Guidelines for Applying Protected Area Management Categories*. Gland, Switzerland: IUCN.
- Echeverría, C., Gática, P. y Fuentes, R. (2013). Habitat edge contrast as an indicator to prioritize sites for ecological restoration at the Landscape scale. *Natureza & Conservacao*, 11(4), 170-175.
- Echeverría, J. (2015). *Agua y ecosistemas*. Buenos Aires, Argentina: Corporación Andina de Fomento.
- Ehrenfeld, J. (2000). Defining the Limits of Restoration: The Need for Realistic Goals. *Restoration Ecology*, 8(1), 2-9.
- Esquivel, V. (2009). La cerca como herramienta básica para la división de potreros. *InfoAgro*, 1, 11-17.
- Foltéte, J., Berthier, K. y Cosson, J. (2008). Cost distance defined by a topological function of landscape. *Ecological Modelling*, 210(1-2), 104–114.

- Forman, T. (1995). *Land Mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Forman, T. y Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*. New York: John Wiley y Sons.
- Franklin, J., Denison, W., Mckee, A., Maser, C., Sedell, J., Swanson, F. y Juday, G. (1981) *Ecological characteristics of old-growth Douglas-fir forests. General Technical Report*. Portland: Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Fredericksen, T., Contreras, F. y Pariona, W. (2001). *Guía de silvicultura para bosques tropicales de Bolivia*. Santa Cruz, Bolivia. Proyecto BOLFOR.
- Frey-Ehrenbold, A., Bontadina, F., Arlettaz, R. y Obrist, M. (2013). Landscape connectivity, habitat structure and activity of bat guilds in farmland-dominated matrices. *Journal of Applied Ecology*, 50(1), 252-261.
- Fuente, S. (2011). *Análisis Conglomerados*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Fuentes, P. y Ramírez, A. (2010). Relación entre la invasión de *Acacia dealbata* Link (*Fabaceae: Mimosoideae*) y la riqueza de especies vegetales en el centro-sur de Chile. *Gayana Botánica*, 67(2), 188-197.
- Galindo, L. (2008). Programa de restauración para la reserva de la Biosfera El Triunfo. México: FONCET-2008-01.
- García, M., Parra, D. y Mena, P. (2014). *El País de la Biodiversidad: Ecuador*. Quito, Ecuador: Fundación Botánica de los Andes, Ministerio del Ambiente y Fundación EcoFondo.
- Gaston, K. y Williams, P. (1996). Spatial patterns in taxonomic diversity, En K. Gaston (Ed.), *Biodiversity: A biology of numbers and difference*, (pp. 202-229). Cambridge: Blackwell Science.
- Gatica, P., Echeverría, C. y Nelson, C. (2017). Ecological indicators for assessing ecological success of forest restoration: a world review. *Restoration Ecology*, 25(6), 850–857.
- Gleick, P.H. (2000). *The world's water 2000-2001*. Washington, D.C: Island Press.

- Tituaña, M., Rosero, P., Ríos, R., Maila, L. y Simbaña, M. (2017). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Papallacta 2020. Papallacta: Gobierno Parroquial de Papallacta.
- Granados, C., Serrano, D. y García, A. (2014) Efecto de borde en la composición y en la estructura de los bosques templados. Sierra de Monte Alto, Centro de México, *Caldasia* 36(2), 269-287.
- Günter S., González, P., Alvarez, G., Aguirre, N., Palomeque, X., Haubrich, F. y Weber, M. (2009). Determinants for successful reforestation of abandoned pastures in the Andes: Soil conditions and vegetation cover. *Forest Ecology and Management*, 258(2), 81-91.
- Hannah, L., Midgley, G. y Millar, D. (2002). Climate change-integrated conservation strategies. *Global Ecology and Biogeography*, 11(6), 485-495.
- Hansen, A. y Di Castri, (Eds.). (1992). *Landscape Boundaries: Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows*. New York: Springer-Verlag.
- Harris, L. y Silva, G. (1992). Forest fragmentation and the conservation of biological diversity. En P. Fiedler y S. Jain (Ed). *Conservation biology: the theory and practice of nature conservation, preservation, and management*. (pp. 197-237). New York, US: Chapman and Hall.
- Harris, L. y Silva-Lopez, G. (1992). Forest fragmentation and the conservation of biological diversity. En P. Fiedler y S. Jain (Ed.), *Conservation biology: the theory and practice of nature conservation, preservation, and management*. (pp. 197- 237). New York, US: Chapman and Hall.
- Hernández, A., Langdon, B. y Arellano, P. (2012). *Plan de restauración del bosque nativo Arauco*. Gerencia de Desarrollo, Forestal Arauco.
- Hernández, A., Miranda, M., Arellano, E., Saura, S. y Ovalle, C. (2015). Landscape dynamics and their effect on the functional connectivity of a Mediterranean landscape in Chile. *Ecological Indicators*, 48, 198–206.
- Hernández, A., Rojas, R. y Sánchez, F. (2013). Cambios en el uso del suelo asociados a la expansión urbana y la planeación en el corregimiento de Pasquilla, zona rural de Bogotá (Colombia). *Revista colombiana de Geografía*, 22(2), 257-271.

- Herrick, J. E., Schuman, G. E. y Rango, A. (2006). Monitoring Ecological Processes for Restoration Projects. *Journal for Nature Conservation*, 14(3-4), 161-171.
- Hilty, J., Lidicker, W. y Merenlender, A. (2006). *Corridor ecology. The science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation*. Washington: Island Press.
- Hofstede, R., Lips, J. y Jongsmá, W. (1998). *Geografía, ecología y forestación de la sierra alta del ecuador*. Quito, Ecuador: Abya-Yala.
- Imaña, J. y Encinas, O. (2008). *Epidometría Forestal: Incremento*. Brasil: Finatec.
- Imbernon, J. Villacorta, J., Zelaya, C. y Valle, A. (2005). Fragmentación y conectividad del bosque en El Salvador Aplicación al Corredor Biológico Mesoamericano. *Bois et Forêts des tropiques*, 4(286), 15-28.
- International Union for Conservation of Nature, IUCN. (1998). *Annual report 1998 The World Conservation Union*. Gland, Switzerland: IUCN.
- Jaramillo, K., Calvache, M. y Tafúr, V. (2013). Evaluación de medios de cultivo para la micropropagación de Arrayán (*Myrcianthes Hallii*). *Mc Vaugh.* 2, 72-82.
- Karr, J. (1991). Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. *Ecological Application*, 1(1), 66-84.
- Karr, J. (2000). Health, integrity, and biological assessment: The importance of measuring whole things. En D. Pimentel, L. Westra y R. Noss (Eds.), *Ecological Integrity: Integrating environment, conservation, and health* (pp. 209-226). Washington, D. C.: Island Press.
- Kerr, M. (2004). A phylogenetic and biogeographic analysis of *Sanguisorbeae* (Rosaceae), with emphasis on the Pleistocene radiation of the High Andean genus *Polylepis*, (Tesis de Doctorado). University of Maryland, Maryland, U.S.A.
- Kessler, M. y Schmidt, A. (2006). Taxonomical and distributional notes on *Polylepis* (Rosaceae). *Organisms Diversity and Evolution*, 6(1), 67-70
- Kindlmann, P. y Burel, F. (2008). Connectivity measures: a review. *Landscape Ecology*, 23(8), 879–890.

- Landis, J. y Koch, G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159-74.
- Lægaard S. (1992). Influence of fire in the grass páramo vegetation of Ecuador. En H. Balslev (Ed.), *Paramo: an andean ecosystem under human influence* (pp. 177-195). London, UK: Academic Press.
- Lahura, E. (2003). El coeficiente de correlación y correlaciones espúreas. En M. Mena, A. Whitembury y M. Barrón (Comps.), *Econometría Básica: Teoría y Aplicaciones* (pp. 223-228). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Li, H., Li, D., Li, T., Qiao, Q., Yang, J. y Zhang, H. (2010). Application of least-cost path model to identify a giant panda dispersal corridor network after the Wenchuan earthquake—Case study of Wolong Nature Reserve in China. *Ecological Modelling*, 221(6), 944–952.
- Lizama, P. y Boccardo, G. (2014). Guía de Asociación entre variables (Pearson y Spearman en SPSS): Ayudantía Estadística I 2014. *Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20, 183-192.
- Lojan, L. (1992). *El Verdor de los Andes. Árboles y arbustos nativos para el desarrollo forestal alto andino*. Quito: Proyecto Desarrollo Forestal Participativo en los Andes.
- Loján, L. (1992). *El Verdor de los Andes: árboles y arbustos nativos para el desarrollo forestal altoandino*. Quito, Ecuador: FAO, Proyecto de desarrollo forestal participativo en los Andes.
- López, R. (2005). Cálculo de rutas óptimas mediante SIG en el territorio de la ciudad Celtibérica de Segeda. Propuesta Metodológica. *SALDVIE: Estudios de prehistoria y arqueología*, (5), 95-111.
- López, V. H., Balderas, M. A., Chávez, M. C., Pérez, J. I. y Gutiérrez, J. G. (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*. Colombia: Restauración de ecosistemas y servicios ambientales, Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas, Instituto de Ecología A.C. y El Colegio de la Frontera Sur.

- Maldonado, M. y Marini, M. (2004). Effects of Forest Fragment Size and Successional Stage on Mixed-Species Bird Flocks in Southeastern Brazil. *The Condor*, 102(3), 585-594.
- Manson, R.H. (2004). Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques*, 10(1), 3-20.
- 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.
- McGarigal, K. Cushman, S. y Regan, C. (2005). Quantifying terrestrial habitat loss and fragmentation. *Holdsworth Natural Resources Center*, 304, 28-54.
- McGarigal, K. y Marks, B. (1995). *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Portland: Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest research station.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2015). *Plan Nacional de Restauración: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas*. Bogotá, Colombia.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). *Especies forestales leñosas arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador*. Quito, Ecuador: Flacsoandes.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2013). *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Quito: MAE.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2015). Estadísticas de Patrimonio Natural. Datos de bosques, ecosistemas, especies, carbono y deforestación del Ecuador continental. Quito: MAE.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2015). Plan Nacional de Restauración Forestal 2014-2017. Quito: MAE.
- Montalvo, J., Minga, D., Verdugo, A., López, J., Chuazhambo, D., Pacheco, D., Siddons, D., Crespo, A. y Zárate, E. (2018). Características morfológico-funcionales, diversidad arbórea, tasa de crecimiento y de secuestro de carbono en especies y ecosistemas de *Polylepis* del sur de Ecuador. *Ecología Austral*, 28(1), 249-261.

- Montenegro, J., Ramirez, G. y Banco, H. (1997). Evaluación del establecimiento y crecimiento inicial de seis especies maderables asociadas con café. *Agroforestería en las Américas*, 4(13), 14-20.
- Montenegro, L. y Vargas, O. (2008). Caracterización de bordes de bosque altoandino e implicaciones para la restauración ecológica en la Reserva Forestal de Cogua (Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 56(3), 1543-1549.
- Morales, J. A. y Estévez, J. V. (2006). El Páramo: ¿Ecosistema en vía de extinción?. *Luna Azul*, (22), 39-51.
- Murcia, C. (2010). On-the-Job Training for National Park Staff: What They Need to Know about Ecological Restoration (Colombia). *Ecological Restoration*, 28(2), 139-141.
- Murcia, C., Guariguata, M., Peralvo, M. y Gálmez, V. (2017). *La restauración de bosques andinos tropicales: Avances, desafíos y perspectivas del futuro*. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C., Fonseca, G. y Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858.
- Naveh, Z. (1988). Biocybernetic perspectives of landscape ecology and management. En M. Moss (Ed.), *Landscape Ecology and Management*. (pp. 23-34). Montreal: Polyscience.
- Nellemann, C. y Corcoran, E. (2010). *Dead Planet, Living Planet – Biodiversity and Ecosystem Restoration for Sustainable Development. A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme*. Noruega: GRID-Arendal
- Noss, R. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4(4), 355–364
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*. Roma: ONU.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2011). *Decreto Ejecutivo No. 2. Convenio Sobre Diversidad Biológica. Convenio 0*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). *Directrices mundiales para la restauración de bosques y paisajes degradados en las tierras secas*. Roma: ONU.
- Organización de las Naciones Unidas. (2011). PENUMA. Convenio al Plan Estratégico para la Diversidad Biológica del período 2011-2020.
- Organización de las Naciones Unidas. (2016). *El estado de los Bosques del Mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra*. Roma: ONU.
- Pascual-Hortal, L. y Saura, S. (2006). Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: Towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology*, 21(7), 959–967.
- Peña, J., Monroy, A., Álvarez, F. y Orozco, M. (2005). Uso del Efecto de Borde de la vegetación para la Restauración Ecológica del Bosque Tropical. *Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 8(2), 91-98.
- Pértegas, S. y Pita, S. (2001). La distribución normal. *Fiesterra*, (8), 268-274.
- Peyras, M., Vespa, N., Bellocq, I. y Zurita, G. (2013). Quantifying edge effects: the role of habitat contrast and species specialization. *Journal of Insect Conservation*, 17(4), 807-820.
- Pickett, S. y White, P. (1985). *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. San Diego, California: Academic Press.
- Porras, J. (2015). Comparación de pruebas de Normalidad Multivariada: Comparison Tests Multivariate Normal. *Anuales Científicos*, 77(2), 141-146.
- Prendergast J., Quinn, R., Lawton, J., Eversham, B. y Gibbons, D. (1993). Rare species, the coincidence of diversity hotspots and conservation strategies. *Nature*, 365(6444), 335-337.
- Puetate, G. (2017). *Translocación de plántulas de: Weinmannia rollottii, Weinmannia fagaroides, Prunus huantesis y Ocotea infrafraveolata, en un*

- área degradada en la parroquia El Carmelo, provincia del Carchi.* (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.
- Ramírez, M., García, B. y Segovia, A. (2007). Helechos Invasores y Sucesión Secundaria Post-Fuego. *Ciencias*, 85, 18-25.
- Ramos, B. (2006). *Estudio sobre la fragmentación de los hábitats de la red natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructura y Transporte).* (Tesis de Pregrado). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Ramos, Z. y Finegan, B. (2006). Red Ecológica de Conectividad Potencial. Estrategia para el manejo del paisaje en el Corredor Biológico San Juan - La Selva. *Recursos Naturales y Ambiente*, 49, 112-123.
- Renison, D., Cuyckens, G., Pacheco, S., Guman, G., Grau, R., Marcona, P., Robledo, G. y 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.
- Ruíz, M. y Mitchell, T. (2005). Restoration success: how is it being measured?. *Restoration Ecology*, 13(3), 569–577.
- Sánchez, O., Peters, E., Márquez, R., Vega, E., Portales, G., Valdez, M. y Azura, D. (Eds.). (2005). *Temas sobre restauración Ecológica*. México: Sánchez.
- Sauquet, H., Weston, P., Anderson, C., Barker, N., Cantrill, D., Mast, A. y Savolainen, V. (2009). Contrasted patterns of hyperdiversification in Mediterranean hotspots. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(1), 221-225.
- Saura, S. y Pascual-Hortal, L. (2007). A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape. Urban Planning*, 83(2-3), 91–103.
- Saura, S. y Rubio, L. (2010). A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography*, 33(3), 523–537.

- Saura, S., Estreguil, C., Mouton, C. y Rodríguez, M. (2011). Network analysis to assess landscape connectivity trends: application to European forests (1990–2000). *Ecological Indicators*, 11(2), 407–416.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES). (2017). Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida 2017-2021. Quito: SENPLADES .
- Simonsen, S., Biggs, R., Schlütter, M., Schoon, M., Bohensky, E., Cundill, G., Dakos, V., Daw, T., Kotschy, K., Leitsch, A., Quinlan, A., Peterson, G. y Moberg, F. (2014). *Applying resilience thinking: seven principles for building resilience in socialecological systems*. Stockholm Resilience Center.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación SINAC. (2016). *Marco conceptual y guía metodológica para la integridad en áreas silvestres protegidas de Costa Rica*. San José. Costa Rica, SINAC.
- Society for Ecological Restoration International. (2004). *The SER International Primer on Ecological Restoration*. Ecological Restoration, Society for Ecological Restoration International, Tucson, SER.
- Stevens, V., Leboulengé, É. Wesselingh, R. y Bauguette, M. (2006). Quantifying functional connectivity: experimental assessment of boundary permeability for the natterjack toad (*Bufo calamita*). *Oecologia*, 150(1), 161-171.
- 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(1-2), 9-17.
- Taylor, P., Fahrig, L., Henein, K. y Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 68(3), 571–573.
- Tischendorf, L. y Fahrig, L. (2000). On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos* 90(1), 7–19.
- Turner, M., Gardner, R. y Neill, R. (2001) Landscape ecology in theory and practice. Pattern and process. *Springer Verlag*, 2(24), 401-427.
- Urban, D., Minor, E., Treml, E. y Schick, R. (2009). Graph models of habitat mosaics. *Ecological Letters*, 12(3), 260–273.
- Vargas, O. (2007). *Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino*. Colombia: Grupo de Restauración Ecológica.

- Vargas, O. (2011). Restauración Ecológica: Biodiversidad y Conservación. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), 221-246.
- Velásquez, J. (2015). *Protocolo de Restauración Ecológica para Zonas de Alta Montaña en la Región Norte de los Andes Colombianos* (Tesis de Doctorado). Universidad de Córdoba, España.
- Vélez, L. y Gómez, A. (2008). Un marco conceptual y analítico para estimar la integridad ecológica a escala de paisaje. *ARBOR Ciencia, pensamiento y Cultura*, 184(729), 31-44.
- Venegas, E. y Roldán, I. (2018). Estado del arte, propagación y conservación de Juglans neotropica Diels., en zonas andinas. *Madera y Bosques*, 24(1), 1-13.
- Verweij, P. A. y Budde, P. E. (1992). Burning and grazing gradients in Páramo vegetation: initial ordination analyses. En H. Balslev (Ed.), *Paramo: an andean ecosystem under human influence* (pp. 177-195). London, UK: Academic Press.
- Vila, A., Sedano, M., López, A. y Juan, A. (2004). *Análisis de regresión y correlación lineal*. México: Secretaría de Estado de Educación y Universidades (MECD).
- Villavicencio, R., Avila, R., Guerrero, S., Santiago, A. y Treviño, E. (2017). Conectividad del hábitat forestal de las áreas protegidas para el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en el estado de Jalisco, México. *Áreas Naturales Protegidas Scripta*, 3(2), 9-3.
- Villavicencio, R., Saura, S., Santiago, A. y Chávez, A. (2009). La conectividad forestal de las áreas protegidas del estado de Jalisco con otros ambientes naturales. *Scientia-CUCBA*, 11(1-2), 43-50.
- Walker, L. (2005). Margalef y la sucesión ecológica. *Ecosistemas*, 14(1), 66-78
- Walker, R. y Craighead, L. (1997). Analyzing wildlife movement corridors. En T. Whitmore (Ed.), *Nature conservation 2: The role of corridors*. (pp. 71-98). California: Surrey Beatty & Sons.
- Wortley, L., Hero, J. y Howes, M. (2013). Evaluating ecological restoration success: a review of the literature. *Restoration Ecology*, 21(5), 537-543.

- Yáñez, P. (2009). La zona transicional páramo-Bosque nublado: un elemento paisajístico móvil en el espacio tiempo. *La Granja Revista de Ciencia de la Vida*, 9(1), 17-21.
- Zeng, H. y Wu, X. (2005). Utilities of edge-based metrics for studying landscape fragmentation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(2), 159-178.

ANEXOS

Anexo 1. Identificación de sitio de muestreo



Anexo 2. Identificación de especies para localización



Anexo 3. Evaluación de supervivencia y estado de especies



Anexo 4. Medición de altura total de las especies a favor de la pendiente

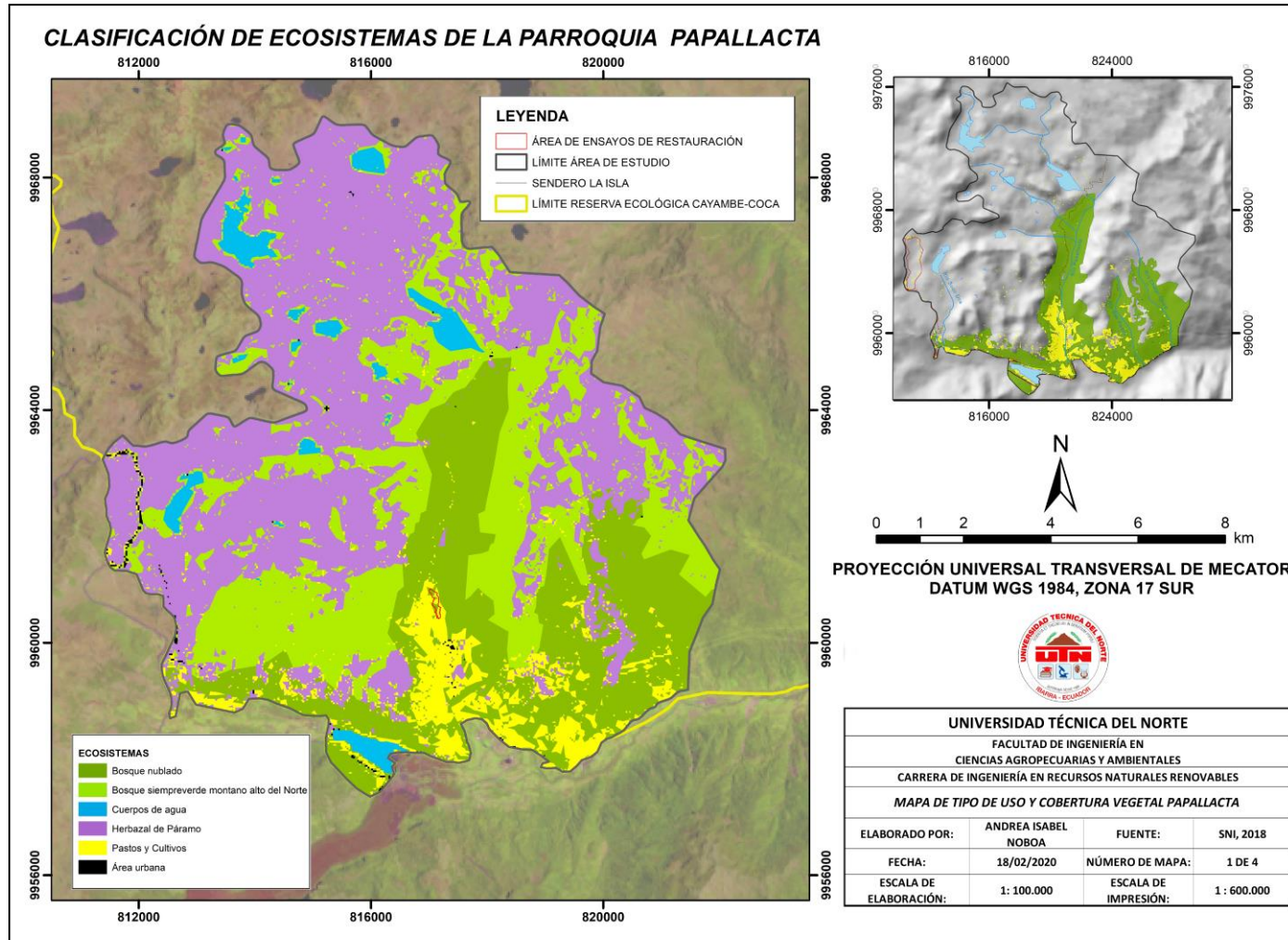




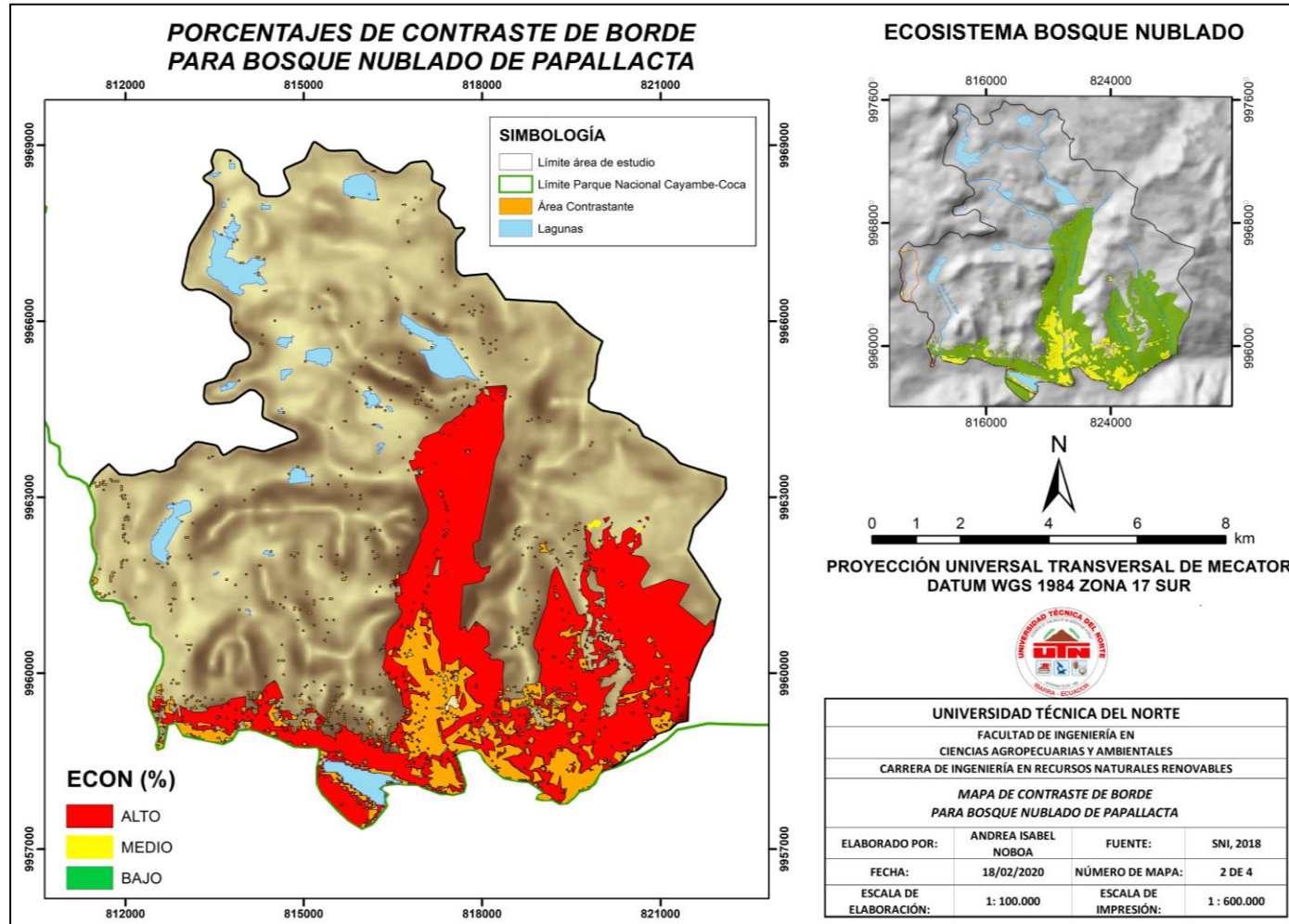
Anexo 5. Medición de longitud de rama axial seleccionada con flexómetro



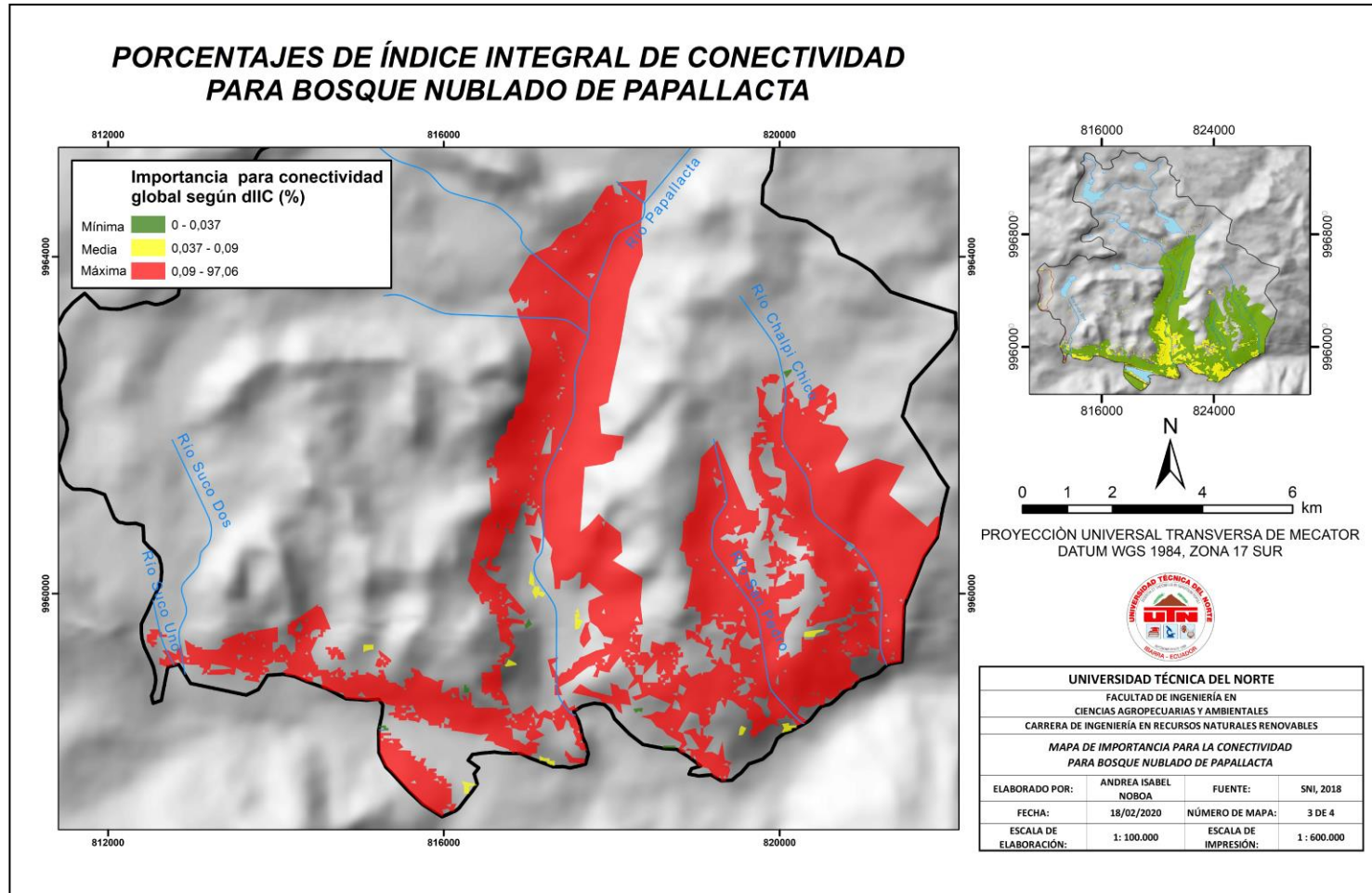
Anexo 8. Mapa de tipo de uso y cobertura vegetal de Papallacta



Anexo 9. Mapa de Contraste de Borde para Bosque nublado de Papallacta



Anexo 10. Mapa de Importancia para la Conectividad para Bosque nublado de Papallacta



Anexo 11. Mapa de priorización de nodos de importancia para Bosque nublado de Papallacta.

