

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

Determinación de áreas potenciales para reforestación con fines comerciales y restauración en base a variables edafoclimáticas. Estudio de caso en la microcuenca del Río Yanuncay

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo


Autor:

Wellington Geovanny Bustamante López

Alex Michael Pucha Galarza

Director:

Ángel Oswaldo Jadán Maza

ORCID:  0000-0002-7865-2418

Cuenca, Ecuador

2023-10-19

Resumen

La reforestación comercial y de restauración son importantes porque generan rentabilidad económica, ambiental e impactos positivos. Los SIG han servido para identificar áreas potenciales en reforestación, teniendo en cuenta variables climáticas, topográficas y la fertilidad del suelo. Con el fin de aportar información sobre este tema se desarrolló la presente investigación, cuyo objetivo general fue: determinar áreas potenciales para reforestación en la microcuenca del Río Yanuncay. Metodológicamente, se descargó información del IGM y del repositorio de la UDA, para diseñar mapas de áreas protegidas, pendientes, cobertura vegetal, zonas de protección hídrica y pedología. Estas capas digitales fueron unidas para obtener una sola capa digital y tabla de atributos que permitieron determinar áreas potenciales para reforestación considerando tipologías de suelos, en donde se evaluó su fertilidad con un análisis previo de las propiedades fisicoquímicas. Como resultados se determinó que las áreas potenciales para reforestación fueron aptas para fines comerciales en suelos andisoles, los cuales ocuparon una mayor superficie, a diferencia de las áreas aptas para restauración que ocuparon superficies menores. Además, se obtuvo dos grupos de especies nativas aptas para los dos tipos de reforestación asociadas a las diferentes tipologías de suelos. Se concluye que las especies forestales doble propósito son importantes en sitios específicos donde se quiera realizar los dos tipos de reforestación. Esta importancia se basa en la indagación exhaustiva a través de la discriminación de variables espaciales y la fertilidad de los suelos en sus diferentes tipologías.

Palabras clave: reforestación, especies forestales, suelos fértiles, áreas protegidas



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

Commercial reforestation and restoration are important because they generate economic and environmental profitability and positive impacts. GIS have been used to identify potential areas for reforestation, taking into account climatic and topographic variables and soil fertility. In order to provide information on this topic, this research was developed with the general objective of determining potential areas for reforestation in the Yanuncay River micro-watershed. Methodologically, information was downloaded from the IGM and the UDA repository to design maps of protected areas, slopes, vegetation, water protection zones and pedology. These digital layers were merged to obtain a single digital layer and table of attributes that allowed to determine potential areas for reforestation considering also the soil typologies, where their fertility was evaluated with a previous analysis of the physical and chemical properties. As a result, it was determined that the potential areas for reforestation were suitable for commercial purposes in andisol soils, as opposed to the areas suitable for restoration that occupied smaller surfaces. In addition, two groups of native species suitable for the two types of reforestation associated with the different soil typologies were obtained. It is concluded that dual-purpose forest species are important in specific sites where both types of reforestation are desired. This importance is based on the thorough investigation through the discrimination of space variables and the fertility of the soils in their different typologies.

Keywords: reforestation, forest species, fertile soils, protected areas



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

Introducción _____	13
Objetivos _____	15
Objetivo General _____	15
Objetivos Específicos _____	15
Revisión bibliográfica _____	16
El Sistema de Información Geográfica en la determinación de áreas potenciales con fines de reforestación _____	16
Reforestación con fines comerciales _____	17
Reforestación con fines de restauración _____	18
Especies permitidas para hacer reforestación en el Ecuador _____	20
Tipos de suelos y su relación con especies forestales _____	21
Variables legales, edáficas y climáticas consideradas para los procesos de reforestación con fines comerciales y de restauración _____	22
Materiales y métodos _____	23
Materiales usados _____	23
Área de estudio _____	24
Metodología para el objetivo específico 1: “Identificar áreas potenciales para implementación de plantaciones forestales con fines de restauración y comercialización” _____	25
Mapa potencial de reforestación con fines comerciales y de restauración _____	27
Metodología para el objetivo 2. “Recomendar especies forestales con base a la fertilidad ideal frente a lo existente en la microcuenca del Río Yanuncay” _____	29
Propiedades físicas _____	30
Densidad aparente _____	30
Textura del suelo _____	30
Propiedades químicas _____	30
pH _____	30
Conductividad eléctrica _____	30
% de materia orgánica _____	31
Diseño experimental _____	31
Especies recomendadas para reforestación _____	31
Resultados _____	33
Áreas Protegidas _____	33

Cobertura Vegetal _____	33
Pendientes _____	34
Zonas de protección Hídrica _____	35
Mapa potencial de Reforestación con fines Comerciales y de Restauración _____	36
Resultados para el Objetivo 2 _____	37
Pedología _____	37
Mapa de áreas potenciales con diferentes tipologías de suelos _____	38
Variables edáficas de suelos _____	40
Análisis de normalidad _____	40
Densidad aparente _____	41
Textura _____	41
pH _____	42
Conductividad eléctrica _____	42
% de materia orgánica _____	43
Especies recomendadas para reforestar _____	44
Discusión _____	46
Áreas potenciales para reforestación _____	46
Especies forestales con base a la fertilidad de suelos _____	47
Conclusiones _____	50
Recomendaciones _____	52
Referencias _____	53
Anexos _____	59

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de la microcuenca del Río Yanuncay. A) Ubicación a nivel Nacional; B) Ubicación a nivel provincial; C) Ubicación a nivel cantonal; D) Ubicación a nivel de la cuenca del Río Paute.	24
Figura 2. Esquema para elaborar el mapa potencial de reforestación.	28
Figura 3. Mapa de Áreas Protegidas de la Microcuenca del Río Yanuncay.	33
Figura 4. Mapa de Cobertura Vegetal de la Microcuenca del Río Yanuncay.	34
Figura 5. Mapa de Pendientes de la Microcuenca del Río Yanuncay.	35
Figura 6. Mapa de Zonas de Protección Hídrica de la Microcuenca del Río Yanuncay.	36
Figura 7. Mapa de Áreas Potenciales de Reforestación de la Microcuenca del Río Yanuncay.	37
Figura 8. Mapa de Pedología de la Microcuenca del Río Yanuncay.	38
Figura 9. Mapa para reforestación en APTS de la Microcuenca del Río Yanuncay.	39
Figura 10. Promedios \pm error estándar de la densidad aparente obtenida en las áreas de reforestación en APTS.	41
Figura 11. Promedios pH \pm error estándar del pH obtenido en APTS.	42
Figura 12. Promedios conductividad eléctrica \pm error estándar de la CE obtenida en las áreas APTS.	43
Figura 13. Promedios del porcentaje de materia orgánica \pm error estándar de la materia orgánica obtenida en las áreas APTS.	43
Figura 14. Análisis de conglomerados de las especies a reforestar con base a cada APTS.	45

Índice de tablas

Tabla 1. Materiales usados en la ejecución del proyecto.	23
Tabla 2. Codificación usada para cada APTS.....	29
Tabla 3. Esquema realizado para identificar especies forestales aptas por cada APTS.	32
Tabla 4. Representación de las áreas potenciales a través de un código y por ha.	36
Tabla 5. Zonas aptas para reforestación con fines comerciales y con fines de restauración, con las diferentes tipologías de suelo APTS.	40

Índice de anexos

Anexo A. Análisis de Normalidad con la prueba de Shapiro Wilks.	59
Anexo B. Toma de las muestras en campo.	59
Anexo C. Tamizado y secado de las muestras recolectadas en campo.	59
Anexo D. Evaluación de la densidad aparente.	59
Anexo E. Evaluación del pH.	59
Anexo F. Evaluación de la Conductividad eléctrica.	60
Anexo G. Determinación del % de Materia Orgánica.....	60
Anexo H. Método de Bouyoucos para determinar la textura del suelo.....	60
Anexo I. Hexametáfosfato de sodio para separar las partículas.	60
Anexo J. Especies recomendadas para reforestar en la microcuenca del Río Yanuncay...	63
Anexo K. Valores de las variables edáficas en las zonas de estudio.....	64

Agradecimiento

Le agradezco a Dios por haber sido mi guía durante este largo camino, por nunca dejarme desfallecer ante ninguna circunstancia y por darme fortaleza en los momentos más difíciles. Al Ing. Oswaldo Jadán, por ser un excelente guía durante todo este proyecto de tesis, gracias por compartir su conocimiento, experiencia e inteligencia en todo este proceso formativo.

Quiero expresar un sincero agradecimiento al Ing. Eduardo Tacúri, Ing. Pedro Zea, Ing. Hugo Cedillo, Ing. Amanda Suquí, Ing. Mateo López, por su ayuda y predisposición durante todo este proyecto de tesis.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad de Cuenca, docentes y amigos que fueron parte fundamental para este logro académico.

Wellington Bustamante

Agradecimiento

Quiero expresar un sincero agradecimiento a los docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias por su contribución en la enseñanza académica y especialmente al apoyo durante el desarrollo de este proyecto: Ing. Oswaldo Jadán Maza MSc.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han apoyado a lo largo de este proceso de investigación. Su aliento, consejos y apoyo incondicional han sido fundamentales para lograr la culminación de esta etapa de mi vida.

Estoy sinceramente agradecido por toda esta fundamental etapa de formación académica y personal.

Alex Pucha

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación como profesional.

Le dedico este gran logro a mis padres, Freddy Bustamante y Juana López, quienes siempre estuvieron pendientes de mi bienestar, que, a pesar de la distancia, no permitieron que nunca me haga falta nada, gracias a su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más.

A mis hermanos Mayerli y Steeven por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento y por celebrar mis triunfos como si fueron suyos, gracias.

A mi tío Adolfo Cevallos, un hombre que desde pequeño me brindó su confianza y su amistad, gracias por el cariño, los consejos y por todo su apoyo durante toda mi formación académica.

Este logro es por y para ustedes.

Wellington Bustamante.

Dedicatoria

El presente proyecto de titulación va dedicado a las siguientes personas quienes me han visto en mi formación profesional:

A mi querida mamita Ana, quien ha sido mi mayor fuente de amor, apoyo y motivación a lo largo de mi vida y por la confianza alentarme a perseguir mis sueños. Esta tesis es un testimonio de su amor incondicional y dedicación.

A mis hermanos Maritza, Luis, Jordy y Mathias quienes han estado junto a mí, por sus palabras de aliento, por celebrar mis éxitos y al poder tener un sistema de apoyo incondicional.

Por último, a mi querido profesor, quien ha sido una guía invaluable en sus conocimientos, orientación y sabiduría para mi desarrollo académico.

Les dedico este logro con alegría y gratitud.

Alex Pucha.

Introducción

El Ecuador, en sus 24,7 millones de ha, posee 25 de las 32 Zonas de Vida según la Clasificación de Zonas de Vida y Formaciones Vegetales de Holdridge (MAE, 2014). Aquí se destacan las cuencas hidrográficas por poseer espacios rurales con aptitudes especiales, y por cumplir una labor importante medioambiental y humana. Esto se da por varios motivos como el suministro de agua, protección de peligros naturales como inundaciones, desprendimientos y la conservación de la biodiversidad (Albarracín, 2019). Hasta hace poco en el Ecuador, el manejo de las cuencas hidrográficas estaba dirigido a solucionar problemas enfocados al recurso hídrico sin darle importancia al manejo integrado tanto para la producción y conservación, lo cual ha ocasionado varios problemas sociales y ambientales (Albarracín, 2019). Durante muchos años los recursos naturales presentes en cuencas o sitios rurales andinos han sido manejados ambiguamente lo cual ha provocado la expansión de la frontera agrícola. Dentro del manejo integrado se ha desarrollado proyectos de reforestación de los cuales se espera una rentabilidad económica y ambiental de manera pragmática (Medina et al., 1998).

A los procesos de reforestación se los puede describir como el conjunto de actividades direccionadas a la planeación, operación, control y supervisión de los procesos involucrados en la plantación de especies forestales (Sánchez, 2018). Los proyectos de reforestación han sido exitosos cuando se realizaron estudios previos, en los cuales se evaluaron las condiciones del sitio a reforestar, definido las especies a establecer, la preparación del suelo y otros parámetros importantes silviculturalmente (Paredes, 2014; Semarnat, 2010). Asociadamente a las evaluaciones del sitio y para la buena gestión u ordenación dentro de terrenos forestales, los sistemas de información geográfica (SIG) han sido una herramienta eficiente (Medina et al., 1998). Los SIG permiten formular e implementar planes de manejo forestal para un sitio o lugar geográfico específico, desde la planificación inicial hasta las etapas de monitoreo y evaluación (Uribe, 2011). También y de manera relevante, los SIG permiten la identificación de áreas aptas para reforestación, en base a la manipulación, depuración e interceptación de mapas temáticos de vegetación, uso de suelo, edafología, geología y topografía (Ospino & Ramos, 2017).

Actualmente y desde hace algunas décadas se han realizado diferentes programas y proyectos de reforestación. Dentro de las actividades previas a la reforestación es importante realizar una evaluación exhaustiva de la calidad y fertilidad del suelo, considerado como uno de los principales recursos forestales (Sarmiento, 2019). Se afirma que la calidad y fertilidad del suelo es la medida y capacidad que tiene este recurso para funcionar adecuadamente considerando sus propiedades físicas y químicas, procesos y características (Andrades &

Martínez, 2022; Sánchez et al., 2011). La reforestación con fines de restauración ecológica en un periodo de tiempo ha logrado incrementar la fertilidad del suelo (Vázquez et al., 2019). La implementación de especies nativas permite recuperar la fertilidad del suelo asociado con la recuperación de la biodiversidad vegetal y animal (Rodríguez et al., 2009). Opuestamente, especies introducidas de los géneros *Pinus* y *Cupressus* han causado impactos negativos por su potencial invasivo que causa acidificación al suelo, alteración de la microfauna y ruptura de las cadenas alimenticias (Vázquez et al., 2019).

En algunos países la ordenación forestal es muy incierta, por lo tanto no existen herramientas de planificación para emprender masivamente proyectos de reforestación con fines de comercialización o conservación – restauración (Mafla, 2020). Ante ello se torna importante la aplicación tecnológica basada en el uso de herramientas idóneas y eficientes como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Toala, 2018). Aunque el uso de las herramientas SIG han sido generalizado para diferentes campos tecnológicos no se las han aplicado de manera masiva en la temática de ordenación forestal, especialmente a nivel local. Aquí los gobiernos autónomos descentralizados (municipios y parroquias) no han sido protagonistas en ordenar sus territorios rurales con fines de reforestación. Sumado a ello, la deforestación en el Ecuador sigue siendo un problema incidente constantemente opuesto a los esfuerzos y desafíos de la conservación ambiental, en particular, en la conservación de la biodiversidad del país (MAE, 2014). Por lo tanto, las actividades de reforestación son pertinentes para mitigar efectos regionales y globales provocados por el cambio climático. Actualmente en Ecuador se reforesta con fines comerciales y de restauración ecológica, lo que ha permitido incrementar las coberturas forestales y sobre todo proveer de bienes y servicios ecosistémicos, en donde la vegetación juega un rol muy importante (Caranqui, 2017).

Las evaluaciones implícitas dentro del ordenamiento forestal también deben considerar a los suelos como parámetros fundamentales para determinar sitios adecuados en donde se implementen los proyectos de reforestación. Esto permitirá determinar espacios tangibles, pero además idóneos según los requerimientos ecofisiológicos de las especies forestales, de tal manera que los aspectos geográficos (sitios) y ambientales asociados a la reforestación sean los más adecuados. Con estos antecedentes, en la presente investigación se elaboró un mapa potencial para aportar al ordenamiento forestal local, mediante la identificación de áreas potenciales para reforestación con fines comerciales y de restauración ecológica. Esto se lo realizó considerando variables climáticas, topográficas y edáficas empleando los SIG en la microcuenca del Río Yanuncay del cantón Cuenca. Este proyecto sería un estudio pionero a nivel académico para ser utilizado con fines específicos en proyectos de reforestación en el Austro ecuatoriano.

Objetivos

Objetivo General

Determinar áreas potenciales para reforestación en la microcuenca del Río Yanuncay.

Objetivos Específicos

Identificar áreas potenciales para implementación de plantaciones forestales con fines de restauración y comercialización.

Recomendar especies forestales con base a la fertilidad ideal frente a lo existente en la microcuenca del Río Yanuncay.

Revisión bibliográfica

El Sistema de Información Geográfica en la determinación de áreas potenciales con fines de reforestación

El Sistema de Información Geográfica (SIG), es capaz de capturar, almacenar, analizar datos geográficamente referenciados que representan imágenes de un área determinada mediante elementos espaciales tales como polígonos, líneas y puntos (Gómez, 2020). También, permiten tomar decisiones a través de la modelación espacial sobre los planes de ordenamiento ecológico, monitoreo y evaluación de recursos naturales, áreas con riesgo de deterioro, hábitats de vida silvestre y zonas aptas para la restauración y reforestación (Cerón, 2021). Con los sistemas de información geográfica (SIG) es posible agrupar los factores ambientales y sus interacciones (Sánchez, 2015) y también son importantes para predecir la idoneidad del medio ambiental para especies de flora y fauna, en función de su nicho ecológico (Parra, 2018). Los sistemas de información geográfica (SIG) juegan un papel fundamental en los estudios realizados actualmente ya que gracias a estos se puede manipular, depurar y modelar información que se encuentre especializada y tener una respuesta al cómo, cuándo y por qué sucede un fenómeno (Sánchez, 2018).

El Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta que se empezó a generalizar a partir de la década de los 80 aunque en los años 1960 y 1964 en Canadá se desarrolló el Canadian Geographic Information System para gestionar los bosques y superficies rurales. Gracias a esto hoy se realizan informes sobre la administración forestal ya que el sistema ha ido evolucionando (Domínguez, 2000). Actualmente gracias a los SIG se puede optimizar la zonificación ambiental para el manejo áreas a reforestar, con bases de datos estructuradas, que permiten almacenar, procesar, analizar y dar resultados con mapas georreferenciados y datos alfanuméricos, respondiendo a los requerimientos de información (Bautista, 2016). Dentro de la utilización de los SIG se destaca la localización y estimación del grado de deforestación y sus efectos en los ecosistemas forestales, principalmente en los más aislados (Sánchez et al., 1999). Otra importante función de los SIG es que permiten realizar mapas avanzados y análisis espacial con fines de vigilancia forestal. El mapeo avanzado y el análisis espacial incluyen el monitoreo de especies, conflictos entre humanos y animales, gestión de áreas protegidas, etc. Estos resultados fortalecen la vigilancia para salvaguardar los hábitats de vida silvestre y prevenir la caza furtiva y otras actividades ilegales (Varatharajaperumal, 2022).

Durante muchos años se han elaborado diferentes estudios que describen la aptitud del suelo, la identificación de áreas a reforestar, la distribución potencial de especies; así como el

potencial productivo de la tierra, bajo el entorno de los SIG y análisis multivariados. Entre las primeras aplicaciones están la utilización de imágenes Landsat-TM para producir bases de datos y mapas de bosque de coníferas de viejo crecimiento, así como la producción potencial de madera (González et al., 2004). Otra de las principales intervenciones de los SIG están la localización y cuantificación espacial de terrenos con aptitud ecológica para establecer plantaciones forestales de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, con base en criterios bien definidos y organizados en jerarquías espaciales (Bustillos et al., 2007). En otro estudio identificaron, clasificaron y mapearon la productividad de sitios forestales con ayuda de SIG a través de dos métodos. El primero, combina las características del suelo o factores topográficos y otro método indirecto que complementa al primero y además un índice de sitio. En este método indirecto se selecciona propiedades de la vegetación como el tamaño y peso de los árboles (Ramírez, 2015). Otros autores proponen utilizar la geoestadística dentro de los SIG ya que sirve para realizar mapas de probabilidad con lo que se obtiene un análisis más preciso de un área a reforestar (Rodrigues et al., 2011). Los SIG han permitido recolectar información sobre pendientes, coberturas y capacidad de uso del suelo para lograr definir las zonas de uso y conflicto en base a los datos recolectados (Medina et al., 1998).

Reforestación con fines comerciales

La reforestación con fines comerciales está enfocada en la selección de especies forestales con un alto valor ambiental y comercial (MAE, 2006). A nivel mundial se establecen plantaciones forestales con el objetivo de generar materia prima y reducir el aprovechamiento desmedido de los bosques nativos (López & Gómez, 2012). Para este tipo de plantaciones generalmente se establecen especies que producen madera de calidad, con el fin de obtener productos maderables y no maderables (Sánchez, 2015).

Debido a la tala indiscriminada de bosques nativos, en varios países incluido Ecuador, se establecieron medidas para suplir la demanda de madera (Sánchez, 2015). En Ecuador actualmente se realizan proyectos de reforestación a través del Programa de Incentivos para la reforestación con fines comerciales, cuyo objetivo es reducir el aprovechamiento indiscriminado de bosques nativos, frente a la inminente expansión de la frontera agrícola (MAGAP, 2014). Otras experiencias se dan en otros países; desde hace algunos años, en Costa Rica se enfocan en el uso de especies de alto valor comercial y rápido crecimiento entre las que destacan la Teca (*Tectona grandis*) y Melina (*Gmelina arborea*) (Meza et al., 2019). De igual manera en India en el año 2006 establecieron pagos compensatorios al derecho de uso de madera en pie, procedentes de bosques naturales, para así mejorar el área deforestada de este país (FAO & Mundial, 2012). Esto se lo realizó con la finalidad de

establecer regiones para plantaciones forestales y poder alcanzar un equilibrio entre el desarrollo económico, social de las comunidades campesinas, y el respeto al medio ambiente (Azqueta et al., 2007).

Para realizar reforestación con fines comerciales en el Ecuador y el mundo se aplican normas técnicas y parámetros impuestos por cada entidad financiera (López & Gómez, 2012). En Ecuador existen pautas técnicas y legales que se deben seguir para establecer estas plantaciones (MAE, 2012). Las zonas donde no se puede realizar esta actividad son las áreas de conservación del programa Socio Bosque, sitios con pendientes superiores a 50° y zonas de protección permanente, como bosques naturales húmedos, áreas con o sin vegetación en márgenes de ríos o cursos de agua permanente o intermitente (Callejas, 2015). Generalmente cuando se realiza esta actividad se utiliza especies doble propósito (Uribe, 2011). Es decir aquellas especies forestales que proveen varios beneficios y servicios intangibles al ambiente y comunidad (Montagnini et al., 2015). En reforestación comercial se utilizan especies forestales tanto nativas como exóticas doble propósito. Para ello se considera un beneficio tangible dentro de su entorno como el formar cercas vivas o en silvopasturas (Callejas, 2015). En ciertos casos se emplea dos especies, una de tipo comercial y de rápido crecimiento como la Balsa (*Ochroma pyramidale*) y otra con fines ganaderos como el Algarrobo (*Prosopis juliflora*) (Molina, 2020). Las especies doble propósito que se usan en el Ecuador son: Algarrobo (*Prosopis juliflora*), Aliso (*Alnus acuminata*), Laurel (*Cordia alliodora*), Neem (*Azadirachta indica*), entre otras (MAGAP, 2014).

Reforestación con fines de restauración

La reforestación con fines de restauración es un método dentro de la silvicultura que logra el restablecimiento de la estructura y diversidad de especies originalmente presentes en el bosque (Vanegas, 2016). Esta actividad es cada vez más frecuente a nivel mundial debido a que ha permitido estabilizar y restaurar sitios que sufren grandes índices de erosión y degradación (Sánchez, 2018). En Ecuador esta actividad ha tomado fuerza, ya que busca recuperar las funciones del bosque, tales como la retención del agua, captura de carbono y desarrollo de actividades productivas en áreas recuperadas (agroforestería) (Simoes & Renison, 2015). Cabe recalcar que a la restauración ecológica se la debe considerar como una táctica multidisciplinaria, integral y compleja, cuyos objetivos se logran a mediano y largo plazo (MAE, 2019). Para realizar reforestación con fines de restauración es recomendable implementar especies forestales nativas puesto que así se mantendría el paisaje y la funcionalidad original del ecosistema (Bautista, 2016). Lo más importante al usar especies nativas, es que no se pondría en riesgo a otras especies vegetales y animales que hacen

parte de los macro y micro hábitat, y que son importantes por mantener el equilibrio ecosistémico (Sánchez, 2018).

En los últimos años, uno de los problemas más importantes es la deforestación y degradación que afrontan los ecosistemas forestales (Intriago, 2001). La deforestación y pérdida de ecosistemas es considerada históricamente como una problemática que va desde lo local hasta grandes escalas (Jadán et al., 2016). Según datos de la FAO en su informe “El Estado de los Bosques del Mundo” (2016), entre los años 2000 y 2010, se produjo una pérdida neta de bosques equivalente a siete millones de hectáreas y un aumento de tierras agrícolas de seis millones de hectáreas anuales en los países tropicales a nivel mundial (FAO, 2016). La deforestación a gran escala ha generado que los suelos pierdan su funcionalidad debido a la intensificación de la producción agrícola y el incremento de los niveles de contaminación ambiental (Sierra, 2013). Con fines de mitigar áreas degradadas o abandonadas luego de la actividad agrícola, en algunos contextos tropicales y en el Ecuador actualmente se ejecutan planes de reforestación con fines de restauración principalmente, asociando de manera directa la conservación ambiental, protección de cuencas hidrográficas y beneficios alternos (MAE, 2014). En cuanto al cantón Cuenca, la actividad de reforestar en los últimos años ha sido ejecutada por instituciones encargadas de la conservación de agua conocida como ETAPA. A nivel de la provincia del Azuay por el Fondo del Agua para la Conservación de la Cuenca del Río Paute (FONAPA), Prefectura y los Gobiernos Autónomos Descentralizados (Villacis & Albarracín, 2023).

El Ecuador asumiendo la responsabilidad con el ambiente, a través del MAE, desde su establecimiento en 1996, viene ejecutando acciones de restauración forestal en áreas degradadas (MAE, 2014). Como beneficio de la restauración forestal se destaca la protección de los cauces y captaciones superficiales, mismas que son fundamentales para mantener la buena calidad del agua (Sanabria, 1999). Por esto actualmente en nuestro país se ejecuta el “Plan Nacional de Restauración Forestal 2019 – 2030”, el cual tiene como objetivo restaurar áreas prioritarias. Esto se lo realiza con la participación de actores públicos y privados con la finalidad de fortalecer el trabajo de conservación de bosques, páramos y manglares del país (MAE, 2019). En Ecuador también se ha realizado las charlas de capacitación técnica y legal dentro de las microcuencas, lo cual ha influenciado de alguna manera para la recuperación de cobertura vegetal y la recuperación de recursos naturales (Aroca et al., 2019). Otra finalidad de la capacitación técnica dentro de los proyectos de restauración es de seleccionar las especies más adecuadas para cada sitio o región geográfica (Rodríguez et al., 2009). Esto permite proteger suelos con problemas de erosión, zonas degradadas, pero sobre todo para

proteger las vertientes productoras de agua que se encuentran en páramos (Chuncho & Chuncho, 2019).

Especies permitidas para hacer reforestación en el Ecuador

La selección de especies para reforestación en Ecuador está basada en las características ambientales específicas de cada región y los objetivos de reforestación sea con fines comerciales o para restauración ecológica (Caranqui, 2017). Esto con la finalidad de definir actividades apropiadas de acuerdo con el sitio donde se ejecutara un proyecto a reforestar, sin dejar de considerar los intereses socioeconómicos y de conservación que forman parte los paisajes forestales (MAE, 2013). También se debe considerar, el objetivo de la plantación, las condiciones edafoclimáticas, fenológicas y el hábito de crecimiento de las especies forestales que se van a utilizar (Carrera, 2008).

El Plan Nacional de Restauración Nacional establece que proyectos de reforestación se los puede realizar con especies nativas, introducidas o exóticas, introducidas cultivadas y naturalizadas, según el objetivo de la plantación (MAE, 2019). Además, de considerar las características productivas forestales al momento de realizar reforestación y garantizar la conservación de los ecosistemas naturales (Paredes, 2014). Se debe tener en cuenta los criterios como características ambientales del sitio, zonas a reforestar y estudios previos a la selección de especies que ayudan a conocer sus aspectos biológicos más importantes (Arriaga et al., 1994).

La importancia de usar especies nativas en reforestación trata de un proceso evolutivo natural, resultando la modificación del ambiente físico creando su propia dinámica culminado con un ecosistema biológicamente estable (Vanegas, 2016). Estas especies nativas algunas tienen un alto valor económico y de uso extractivo, mejorando la sostenibilidad de los ambientes que proveen estos servicios ecosistémicos (Fiallos & Santillán, 2019). Actualmente en la ribera del río Yanuncay se encuentran pequeñas áreas con presencia de especies nativas como: Yubar (*Myrsine andina*), Serna (*Maytenus verticillata*), *Myrrhinium atropurpureum* y cedrillo (*Phyllanthus salviifolius*) (Albarracín, 2019). Para repoblar zonas degradadas, Etapa junto con otras instituciones como la Universidad de Cuenca realizan proyectos de reforestación. (Lima et al., 2018). Dentro de estos programas han usado especies exóticas como el Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Sauce (*Salix humboldtiana*) y Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) (Minga & Verdugo, 2016). También se recomienda utilizar especies forestales que se encuentren en peligro de extinción como lo es el Guayacán (*Guaiaicum officinale*) (Ordóñez et al., 2020).

Tipos de suelos y su relación con especies forestales

El suelo es un factor de gran importancia al momento de determinar áreas aptas en un programa de reforestación (Blanco et al., 2019). Es considerado como uno de los recursos naturales más importantes, esenciales para la vida (Sarmiento, 2019). Proporcionan agua y anclaje a los árboles y otras plantas, determinan en gran medida la biodiversidad y productividad de los ecosistemas forestales (Fiallos et al., 2015). La clasificación de los suelos según su capacidad de uso puede ayudar a identificar las tierras aptas para distintas actividades, incluyendo el aprovechamiento forestal (Novillo et al., 2018). La relación del suelo con implementación de especies forestales trae algunos beneficios (Rivera, 2019). Por ejemplo, el enriquecimiento del suelo en las áreas, debido a la influencia de los árboles, esto se produce, por la incorporación gradual de nutrientes por medio de la biomasa de los árboles y la hojarasca del estrato herbáceo cuando cae hacia el suelo.

En el Ecuador, la formación de suelos está estrechamente relacionada con la actividad volcánica, en función de esta, la cordillera de los Andes del Ecuador puede dividirse en tres zonas (Hofstede et al., 2023). La zona que se localiza en Girón – Paute se encuentran ubicada al sur del límite, con características geológicas diferentes lo que implica diferentes tipos de suelos (Voss et al., 2001). Los suelos de los páramos del Ecuador se han desarrollado esencialmente sobre los depósitos piroclásticos resultantes de las erupciones de los numerosos edificios volcánicos (Podwojeski, 1996). En la parte alta de la microcuenca del río Yanuncay se encuentran zonas con presencia de páramo en donde los suelos corresponden a los Andisoles, Histosoles y Entisoles, cuyas características varían según el uso, el manejo, la altitud y el clima (Quichimbo et al., 2015).

La ubicación geográfica de Ecuador, su variedad en el clima y topografía han producido una gran diversidad biológica (flora, fauna y distintos órdenes de suelo) (Lima et al., 2018). Al mencionar los diferentes tipos de suelo y su relación con las especies forestales se está topando un tema complejo pero necesario para el medio ambiente (Sarmiento, 2019). Dentro de la agroforestería el mezclar dos o más especies forestales en una plantación es una práctica normal (Cabezas et al., 2008). Debido a que las especies forestales y los suelos interactúan mutuamente (simbiosis) (Efron et al., 2005). Las especies forestales proporcionan mantillo (hojas, ramas, frutos, corteza) al suelo y este se transforma en minerales que ayudan al desarrollo de las mismas (Arrigo et al., 2002). Los suelos también suministran materia orgánica y algunos nutrientes para las especies; a su vez, las especies forestales y tipos de vegetación son un factor importante en la creación de un nuevo suelo (Cabezas et al., 2008). Las raíces de algunas especies forestales estabilizan las cimas de las

montañas y las pendientes, las mismas proporcionan a los suelos el apoyo mecánico estructural necesario para impedir movimientos superficiales de tierra (FAO, 2015). En el pasado no se ha tenido en cuenta la importancia de la vegetación arbórea, actualmente es nuestro deber proteger los suelos y bosques, ya que estos dos recursos vitales cumplen una función fundamental para la seguridad alimentaria y la salud del medio ambiente (Arrigo et al., 2002).

Variables legales, edáficas y climáticas consideradas para los procesos de reforestación con fines comerciales y de restauración

Las variables consideradas para los procesos de reforestación comercial se establecen en base al Acuerdo Ministerial 002 en el cual se toma en cuenta las siguientes variables: zonas con pendientes $<50^\circ$ y zonas que no sean de conservación o áreas protegidas (MAE, 2012). Los mismos se basan según el ordenamiento territorial para fines forestales en donde se realizan varias actividades que cumplan con la utilización del espacio de tal manera que los recursos del suelo sean bien administrados (MAE, 2006). Además, es importante tener en cuenta las características del suelo, las condiciones climáticas y los objetivos específicos para poder determinar las zonas disponibles para reforestación con fines comerciales (Muñoz et al., 2018). Las variables consideradas para el proceso de reforestación con fines de restauración se establecen de acuerdo a los siguientes criterios del Acuerdo Ministerial 002 tales como: cobertura vegetal, zonas con presencia de suelo desnudo, pastos, pendientes mayores $> 50^\circ$ y zonas de protección hídrica (MAE, 2012). Estas áreas se encuentran ubicadas en los causes de los ríos, así como de ecosistemas que requieren intervención para recuperación de sus condiciones ecológicas, las mismas que deben ser conservadas y protegidas (Paredes, 2014). También, se deben tener en cuenta los criterios y parámetros establecidos en los manuales y guías especializadas para la restauración ecológica (Vanegas, 2016).

Dentro de las variables climáticas consideradas para la reforestación varían según el proyecto y la ubicación geográfica (Villacis & Albarracín, 2023). En general, se suelen tener en cuenta factores como la temperatura, las precipitaciones, la humedad y la intensidad de la luz solar (Muñoz, 2017). Algunas iniciativas también consideran variables más específicas, como la velocidad del viento, la altura sobre el nivel del mar y las propiedades físicas y químicas del suelo (Lima et al., 2018). En cualquier caso, el objetivo principal es crear condiciones óptimas para el crecimiento y la supervivencia de las plantas.

En las variables edáficas generalmente para establecer cualquier tipo de plantación se toma en cuenta factores como la densidad aparente, materia orgánica, pH, etc (Sarmiento, 2019).

Estos componentes son de suma importancia ya que indican si un suelo es apto o no para cualquier tipo de especie a cultivar, ya sean comestibles o forestales (Sánchez et al., 2011). La densidad aparente del suelo, es la relación entre el volumen total de sólidos del suelo y su masa. (Novillo et al., 2018). Indica la calidad del suelo, esta variable puede determinar alteraciones producidas por las actividades antrópicas como el arado, maquinaria y cultivos, indica el grado de compactación del suelo y las limitaciones para el crecimiento de las raíces (Díaz, 2018). La materia orgánica del suelo contiene tres de los elementos minerales esenciales para el crecimiento de los cultivos, nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) (Julca et al., 2006). El pH es un indicador que permite analizar la cantidad de nutrientes que se encuentran en el suelo disponible para las plantas, el pH se tiene 3 medidas que son, ácido, neutro y básico (Calva, 2016).

Materiales y métodos

Materiales usados

Para el desarrollo de los dos objetivos específicos planteados, se usaron materiales tanto como de campo, laboratorio y de oficina, los cuales se detallan a continuación (Tabla 1).

Tabla 1. Materiales usados en la ejecución del proyecto.

Materiales de campo	Materiales de laboratorio	Materiales de oficina
Barreta	Estufa	Cámara fotográfica
Pala	Mufla	Computadora
Fundas de plástico de 2 kilos	Probetas	Software ArcMap 10.8
Cilindros kopecky	Balanza gramera	
Regla de 30 centímetros	Vasos de precipitación	
Cinta masking	Medidor de pH y conductividad eléctrica	
Combo de caucho	Hidrómetro	
	Agua destilada	
	Hexametáfosfato de Sodio	
	Tamiz de 2 mm	

Área de estudio

El proyecto de tesis fue ejecutado en la microcuenca del Río Yanuncay, ubicada en el Sur del Ecuador, provincia del Azuay, cantón Cuenca (Figura 1). Esta microcuenca posee una superficie de 414,85 km² y altitudes que van desde los 2480 hasta los 4320 msnm. Está formada por varios ríos tales como: Soldados, Bermejos, Yanuncay, Galán y Quimsacocha (Cocha, 2009). Sus temperaturas medias anuales van desde los 14 °C hasta 16 °C, y sus precipitaciones anuales desde 901 hasta 1000 mm (Brito, 2016). Posee diferentes tipos de cobertura vegetal como: páramo, vegetación herbácea (pajonal), especies forestales (sasar, aliso, puma maqui y plantaciones de pino), pastos y zonas con presencia de cultivos (Asanza & Barahona, 2015).

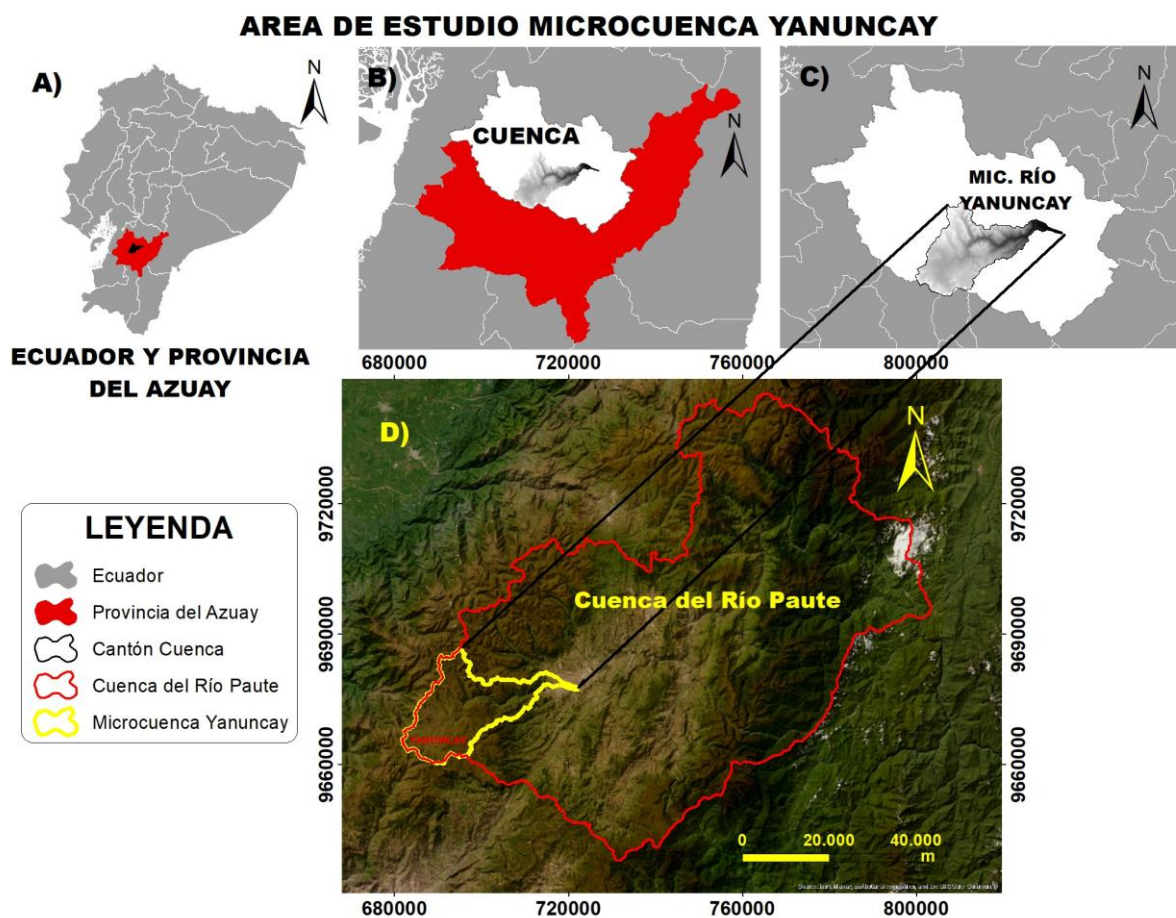


Figura 1. Ubicación geográfica de la microcuenca del Río Yanuncay: A) Ubicación a nivel Nacional: B) Ubicación a nivel provincial: C) Ubicación a nivel cantonal: D) Ubicación a nivel de la cuenca del Río Paute.

Metodología para el objetivo específico 1: “Identificar áreas potenciales para implementación de plantaciones forestales con fines de restauración y comercialización”

Para el desarrollo de este objetivo, se utilizaron capas digitales existentes, por lo tanto, las escalas originales fueron diferentes. Luego, se procedió de la siguiente manera:

1) Se descargó información espacial en formato shapefile y ráster de las siguientes capas digitales:

a) Límite de la microcuenca del río Yanuncay, que fue obtenida en formato shapefile del Instituto Geográfico Militar (IGM) (<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>).

b) Áreas protegidas, descargada en formato shapefile del repositorio del Instituto Geográfico Militar (IGM) (<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>), a escala 1:25.000 en proyección WGS 84 zona 17 Sur.

c) Pendientes, para lo cual se descargó inicialmente los archivos ráster del repositorio de la Universidad del Azuay (<https://gis.uazuay.edu.ec>) y se la recortó para la microcuenca del Río Yanuncay. Las capas que se encuentran en esta página, poseen una escala 1:50.000 en proyección PSAD 56.

d) Red hídrica con ríos y quebradas que fueron descargadas del repositorio de la Universidad del Azuay (<https://gis.uazuay.edu.ec>) a escala 1:50.000 en proyección PSAD 56, luego recortadas para la microcuenca del Río Yanuncay. Con esta información se construyó la zona de protección hídrica. Para ello se aplicó herramientas de SIG dentro del programa ArcGIS (10.8) que permitieron la construcción de un contorno espacial conocido como buffer. Detalles se muestran a continuación en la parte 3d) de esta metodología.

e) Cobertura Vegetal, descargada en formato shapefile del repositorio del Instituto Geográfico Militar (IGM) (<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>), a escala 1:25.000 en proyección WGS 84 zona 17 sur.

Todas las capas obtenidas fueron unificadas a proyección WGS 84 zona 17 sur.

2) Con las capas descritas en a, b, c, d y e, dentro de sus tablas de atributos se adicionó un nuevo campo para categorizar las siguientes categorías; con el numero 0: zonas no aptas para ningún tipo de reforestación, 1 zonas aptas para reforestación con fines comerciales y 2 zonas aptas para reforestación con fines de restauración. Esta categorización se la realizó con base a los descrito en el acuerdo ministerial 002 (MAE, 2012).

3) Análisis multicriterio: fue realizado con las capas preparadas y analizadas previamente. Para ello se estableció un orden de prioridad de las capas mencionadas y sobre las cuales se aplicó el siguiente procedimiento:

a) Áreas protegidas: esta capa estuvo en primer orden de prioridad debido a que dentro de las áreas protegidas no se puede hacer ningún tipo de intervención antropogénica (MAGAP, 2014). Los polígonos que corresponden al Parque Nacional El Cajas fueron codificados con 0 ya que no pueden ser consideradas como zonas aptas para ningún tipo de reforestación.

b) Cobertura vegetal: esta variable tuvo el segundo orden de prioridad. Como parte de la codificación utilizando en esta capa se consideró las coberturas vegetales que están fuera de áreas protegidas en donde no se puede hacer ningún tipo de reforestación (comercial o restauración) por lo que fueron codificadas con 0. Entre estas coberturas están el bosque nativo, páramo, vegetación arbustiva (MAE, 2012). También se excluyó espacialmente y codificó con 0 a los usos del suelo correspondientes a las áreas de construcciones, vías y otro tipo de infraestructura (Pozo, 2010). Se consideró coberturas como usos del suelo aptas para reforestación a: suelo descubierto, zona con cultivos (plantaciones), eucalipto, matorral y pastos las cuales fueron codificadas con 1 de manera preliminar hasta que se aplique la variable de pendiente.

El procedimiento utilizado para categorizar los tipos de cobertura vegetal dentro del programa ArcGIS (10.8) fue el siguiente: Search > Tools > Clip (Analysis) > Geoprocessing > Dissolve > Properties > Symbology > Categories > Unique values > Cobertura.

c) Pendientes: esta variable tuvo el tercer orden de prioridad, cuya capa fue reclasificada considerando al acuerdo ministerial 002, artículo 9 (MAE, 2012), donde se describe que el establecimiento de plantaciones forestales con fines comerciales se limitará a sitios con pendientes promedios de hasta 50°. Es decir, las pendientes de 0 a 50° fue la primera categoría con codificación definitiva con 1 para plantaciones con fines comerciales. Por lo contrario, en los sitios con pendientes > a 50° fue la segunda categoría con codificación de 2, que fueron consideradas para plantaciones con fines de restauración.

El procedimiento utilizado para obtener la capa de pendientes en el programa ArcMap (10.8) fue el siguiente: Search > Tools > Extract by mask > Reclassify (Spatial Analyst) > Input ráster > Classify > 2 categorías. Así se obtuvo una capa ráster de pendientes. Posteriormente, la capa ráster fue transformado a polígono formato Shapefile con proyección WGS 84 zona 17 sur mediante el siguiente procedimiento: Search > Tools > Raster to polygon (Conversion) >

Input ráster > Polygon > Properties > Symbology > Categories > Unique values > Categorías: 0 a 50^o codificación 1 y >50^o codificación 2.

d) Zonas de protección hídrica: esta variable fue el cuarto orden de prioridad. Aquí, las áreas o polígonos que cayeron dentro de esta zona, fueron consideradas para reforestación con fines de restauración únicamente y codificados con 2. Esto se lo realizó obedeciendo al Acuerdo Ministerial 002, Artículo 10 (MAE, 2012). Para ello se realizó buffers o polígonos espaciales (shapefile) que representaron a la protección hídrica, con una distancia de separación de 15 m desde el cauce hacia cada lado para quebradas y de 30 m en los ríos. Estos valores están dispuestos en el Acuerdo Ministerial 002, Artículo 9 (MAE, 2012).

El procedimiento utilizado en el programa ArcMap 10.8 para realizar esta capa digital y con la cual se diseñó el mapa de protección hídrica fue el siguiente: Search > Tools > Buffer > Input Features > Linear unit > 15 m quebradas, 30 m ríos.

Mapa potencial de reforestación con fines comerciales y de restauración

Con las capas recopiladas en formato shapefile de las variables analizadas previamente se aplicó la herramienta de geoprocésamiento de Unión en el programa ArcMap 10.8 para obtener una sola capa en archivo shapefile con su respectiva tabla de atributos. Dentro de esta tabla, se añadió un nuevo campo para establecer la codificación final para cada polígono, resultado de la unión, los cuales corresponde a las diferentes categorías de aptitud para reforestación con fines comerciales y con fines de restauración (Áreas potenciales para reforestación con sus tipologías de suelos, APTS). Para ello se utilizó la calculadora de campos dentro del programa ArcMap 10.8. Con esta capa se obtuvo el mapa que contiene los polígonos correspondientes, a los cuáles se les calculó su superficie (Tabla 4). Finalmente, se obtuvo un mapa potencial de reforestación en donde representa las tres categorías de las diferentes áreas con fines de: reforestación comercial, restauración y no aptas para reforestación. Para la elaboración del mapa final se ejecutaron geo procesos que permitieron el tratamiento de los datos, con las siguientes funciones como: Merge > Union > Dissolve > Intersect. En la figura 2 se muestra el esquema metodológico y las variables utilizadas para la realización del mapa potencial de reforestación.

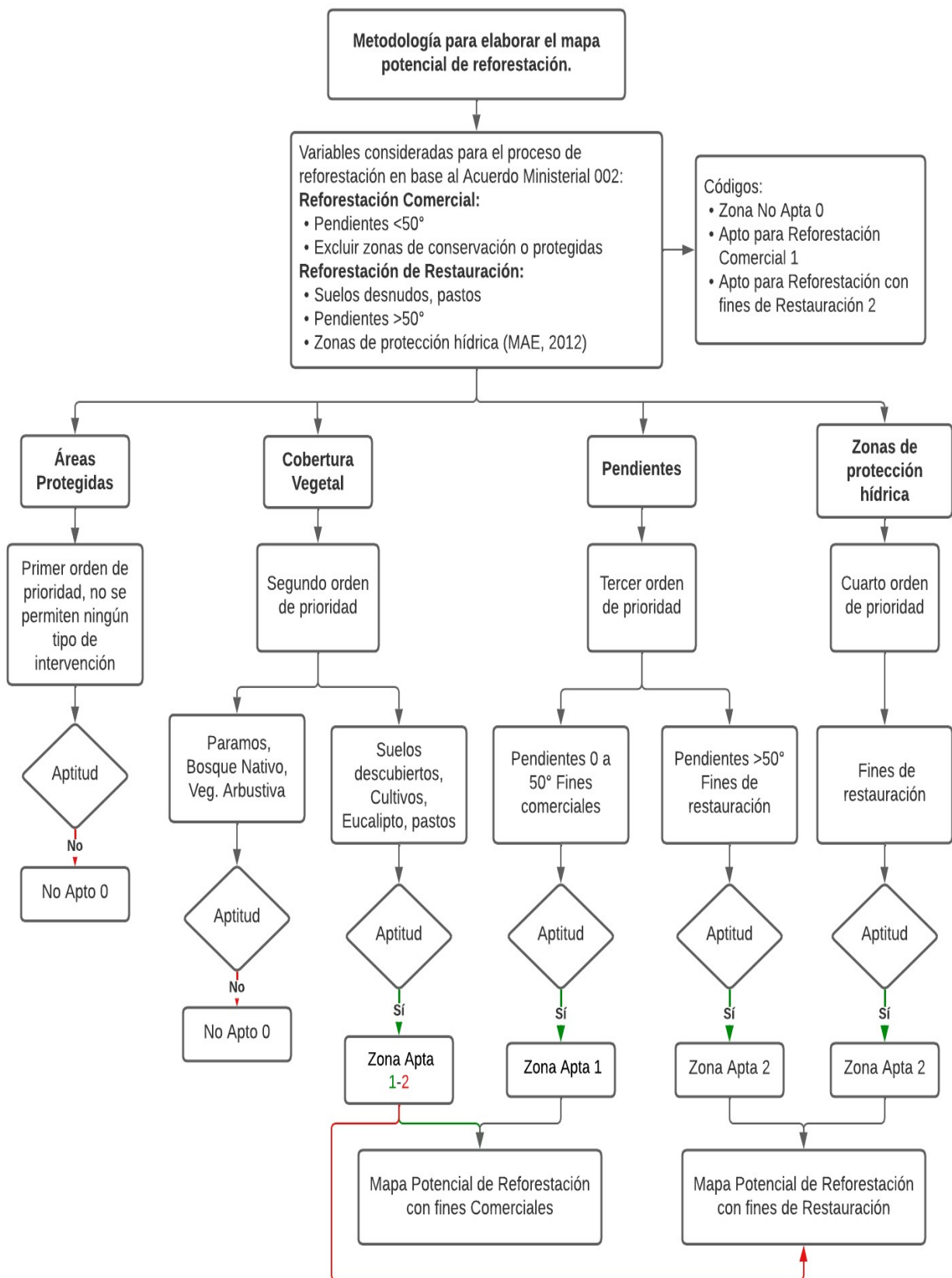


Figura 2. Esquema para elaborar el mapa potencial de reforestación.

Metodología para el objetivo 2. “Recomendar especies forestales con base a la fertilidad ideal frente a lo existente en la microcuenca del Río Yanuncay”

Para cumplir con este objetivo se procedió de la siguiente manera:

- 1) Al mapa de áreas potenciales obtenido del primer objetivo, se le intercepto una capa digital de pedología en formato shapefile a escala 1:25.000 que fue obtenida del Instituto Geográfico Militar IGM (<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>) con proyección WGS 84 zona 17 Sur.
- 2) Luego del cruce, se logró obtener una capa final con las áreas potenciales diferenciadas por las diferentes tipologías de suelos (APTS) A cada polígono resultante se le calculo el área; los polígonos con áreas menores a 10 has no fueron tomados en cuenta, debido a que fueron áreas no representativas dentro del mapa. Finalmente, a cada polígono o APTS se la codificó de la siguiente manera.

Tabla 2. Codificación usada para cada APTS.

Reforestación con fines comerciales	Reforestación con fines de restauración
RFC_AND (Andisoles)	RFR_AND (Andisoles)
RFC_ENT (Entisoles)	
RFC_INCP (Inceptisoles)	RFR_INCP (Inceptisoles)
RFC_MOLL (Molisoles)	RFR_MOLL (Molisoles)
RFC_TRMIC (Tierras Misceláneas)	RFR_TRMIC (Tierras Misceláneas)
RFA_VERT (Vertisoles)	

Dónde: **RFC:** Reforestación con fines comerciales; **RFR:** Reforestación con fines de restauración; **AND:** Andisoles; **ENT:** Entisoles; **INCP:** Inceptisoles; **MOLL:** Mollisoles; **TRMIC:** Tierras misceláneas; **VERT:** Vertisoles.

En cada APTS se realizó muestreos de suelos para determinar su potencial de fertilidad. Para ello se tomó tres muestras compuestas de suelos entre 0 y 15 cm de profundidad (luego de la capa orgánica). En total fueron 30 muestras de suelo, a las que se les determinó propiedades físicas (densidad aparente y textura) y químicas (pH, conductividad eléctrica y % de materia orgánica). Estos análisis se realizaron en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias siguiendo las siguientes metodologías para cada variable.

Propiedades físicas

Densidad aparente

Para esta variable se tomaron 2 repeticiones a 15 cm de profundidad en cada APTS utilizando cilindros kopecky de 98 cm³. Para determinar este parámetro las muestras fueron secadas a 105°C por 24 horas. Luego transcurrido este tiempo, se pesó la muestra y del anillo, y se obtuvo un promedio entre las dos muestras. La densidad aparente se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{(Peso\ seco\ de\ la\ muestra + anillo) - (Peso\ del\ anillo)}{Volumen\ del\ anillo}$$

Textura del suelo

Esta variable fue medida aplicando el método de Bouyoucos. Para ello se utilizó del hidrómetro que valora los porcentajes de arena, limo y arcilla mediante la separación de partículas de acuerdo a su diámetro. Para aplicar este método primeramente las muestras de suelo fueron tamizadas con un tamiz #10 (2 mm). Luego se las secó a 105°C por 24 horas; se pesó 20 g de suelo y se colocó en un vaso con agua, al cual se le añadió 20 ml de hexametáfosfato de sodio que es utilizado para dispersar las partículas. Luego se agitó en la batidora de suelos durante 15 minutos, se lavó las muestras en tamiz de 63 µm. Posterior a ello se colocaron las muestras en el set hidrómetro y se tomaron lecturas a los 50 segundos, 5 minutos, 2 horas, 16 horas y 24 horas.

Propiedades químicas

pH

Para el pH que es una medida de acidez o alcalinidad, se lo determinó mediante el uso de un potenciómetro de marca Apera modelo PC820. Se usó una relación suelo agua de 2:5, es decir, por cada 20 g de suelo se usó 50 ml de agua destilada. Las muestras se agitaron por 15 minutos con una varilla, se colocó en un embudo con papel filtro y posterior a ello la solución fue filtrada hasta obtener 10 a 15 ml. Finalmente las muestras fueron medidas con el potenciómetro (pHmetro).

Conductividad eléctrica

Esta variable indica la cantidad de sales presentes en una solución. Su cálculo se realizó mediante el conductímetro de marca Apera modelo PC820. Para ello se utilizó una relación

1:5 de suelo y agua, es decir, por cada 10 g de suelo se empleó 50 ml de agua destilada. Para este análisis las muestras de suelos fueron agitadas con una varilla durante 15 minutos, luego, se colocó en un embudo papel filtro para filtrar la solución hasta obtener 10 a 15 ml; se midió la CE por medio del conductímetro.

% de materia orgánica

Para determinar esta variable, las muestras fueron tomadas a los 15 cm después de la capa orgánica. Para realizar el análisis en laboratorio, primero todas las muestras fueron filtradas por un tamiz de 2 mm. Luego se secó las muestras a 105 °C durante 24 horas. Seguidamente se pesó 10 gramos de suelo de cada muestra y se realizó 2 repeticiones para cada APTS, es decir por cada APTS se usaron 20 gramos de suelo. Luego, las muestras fueron llevadas al laboratorio en donde se aplicó el método de calcinación o incineración para lo cual se las colocó en la mufla a 400 °C durante 4 horas. Aquí la materia orgánica se la determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de MO} = \frac{(\text{Peso seco a } 105\text{ }^{\circ}\text{C}) - (\text{Peso a } 400\text{ }^{\circ}\text{C})}{(\text{Peso seco a } 105\text{ }^{\circ}\text{C})} * 100$$

Diseño experimental

El diseño que se utilizó fue en bloques completamente al azar (DCA), cuyo modelo de diseño fue el siguiente: $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$, donde: μ corresponde a la media general, τ_i el efecto del i -ésimo tratamiento (APTS) y ϵ_{ij} es el error aleatorio asociado a la observación Y_{ij} . Previo a las pruebas de medias de la variable evaluada (fertilidad del suelo), se comprobó el supuesto de normalidad utilizando la prueba de Shapiro-Wilks ($p < 0,05$); los resultados obtenidos fueron normales. Luego se comprobó la homocedasticidad mediante gráficos de dispersión entre los residuos y predichos.

Especies recomendadas para reforestación

Para recomendar las especies potenciales para las APTS en primer lugar, se consultó las especies nativas que se pueden plantar con base a un uso específico (Minga & Verdugo, 2016). Estas especies por ser nativas pueden ser utilizadas para fines de restauración o comercialización, pero si se las implementara en un futuro en APTS para restauración no podrían ser aprovechadas, aunque tengan múltiples usos.

Por lo contrario si se las planta en APTS para comercialización pueden ser aprovechadas luego que cumplan su ciclo de corta. Las especies seleccionadas y sus usos potenciales son

las siguientes (Ver Anexo J). Estas especies fueron seleccionadas ya que además de constar en el listado de especies útiles (Minga & Verdugo, 2016), fueron registradas en inventarios florísticos en bosques contiguos a la microcuenca del río Yanuncay, en similares ecosistemas. En estos sitios en investigaciones anteriores (Mosquera & Piedra, 2020) se tomó muestras de suelos en donde se registró las mismas variables edáficas (Densidad aparente, textura, pH, conductividad eléctrica y % de materia orgánica) medidas con los mismos métodos, en parcelas donde se desarrollan estas especies en estado natural.

Para analizar la información se levantó matrices de datos en donde constaban los datos registrados en la presente investigación en las diferentes APTS (Ver anexo K) y se adicionó los datos de edáficos provenientes de las parcelas en donde se registraron las especies seleccionadas (Mosquera & Piedra, 2020). Luego que se reunió toda la información se diseñó una base de datos con los siguientes campos: Especies – APTS; todas las variables edáficas medidas: densidad aparente, pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, % de arcilla, limo y arena. Cada registró correspondió a los valores de cada variable edáfica medida para reforestación con fines comerciales en Andisoles (APTS) y *Myrcianthes rhopaloides* variables descritas en el primer campo (Tabla 3).

Tabla 3. Esquema realizado para identificar especies forestales aptas por cada APTS.

Especies – APTS	Densidad aparente	pH	materia orgánica	CE	Arcilla	Limo	Arena	Clase textural
RFC_AND	0.28	6.62	53.75	0.045	4.92	43.51	51.57	Franco arenoso
<i>M. rhopaloides</i>	0.68	5.7	25.74	0.09	7.87	49.17	43.49	Franco arenoso

Esta información fue analizada mediante un análisis de conglomerados, método Ward, distancia Ward, distancia de separación: Correlación de Pearson (1-abs(S)). Esto nos permitió diferenciar grupos en donde se combinaron las APTS y las especies con base a la afinidad o semejanza de sus variables edáficas. Todos los análisis se los realizó en el programa estadístico Infostat (Versión estudiantil 2020e) utilizando los módulos de Modelos Lineales Generales (análisis de varianza) y Modelos Lineales Generalizados para análisis de varianza de las variables de normales.

Resultados

Áreas Protegidas

Las áreas protegidas que están dentro de la Microcuenca del Río Yanuncay corresponden al Parque Nacional Cajas y al Área Nacional de Recreación Quimsacocha. Estas dos áreas no fueron tomadas en cuenta para ningún tipo de reforestación el Parque Nacional Cajas ocupa una superficie de 6329.37 ha y el Área Nacional de Recreación Quimsacocha 2677.6 ha en la cuenca (Figura 3). Desde aquí se parte que el 21.71% de la superficie total de la microcuenca no es apta para fines de reforestación.

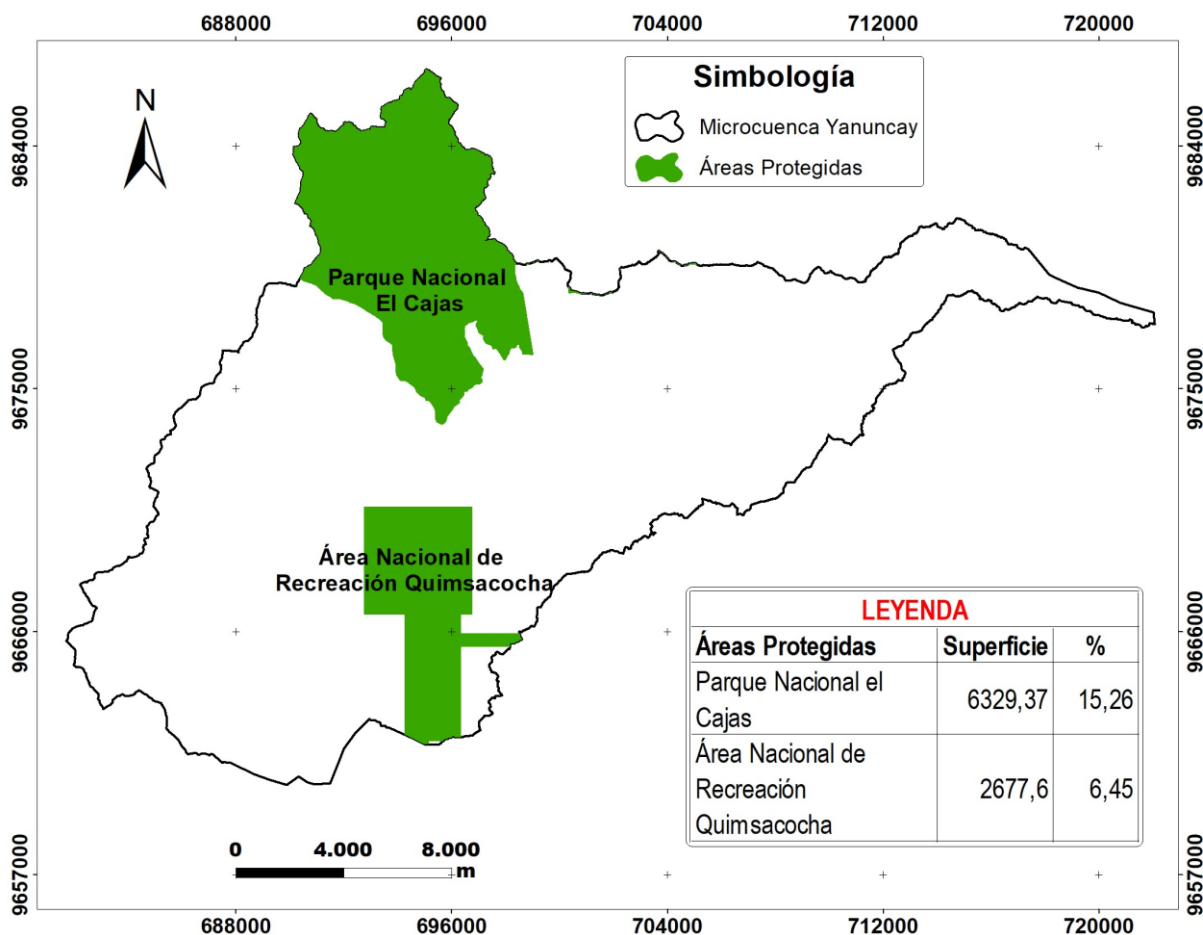


Figura 3. Mapa de Áreas Protegidas de la Microcuenca del Río Yanuncay.

Cobertura Vegetal

Con respecto a las coberturas vegetales aptas para reforestación, la cobertura de pasto registró la mayor cantidad de superficie en la microcuenca del río Yanuncay con 3163.42 ha, seguido de suelo descubierto con 273.08 ha, la tercera cobertura corresponde a cultivos con un área de 168.79 ha y la cuarta cobertura representa a eucalipto y matorral con la menor

superficie de 82.01 ha. Estas coberturas fueron consideradas para actividades de reforestación lo que representa el 8.89% del total de la microcuenca. La cobertura de páramo que registró la mayor cantidad de superficie dentro de la microcuenca del río Yanuncay con 25919.55 ha, seguido de Bosque Nativo con 6710.18 ha y la tercera cobertura en mayor superficie corresponde a Páramo Intervenido con un área de 3947.14 ha. Estas coberturas no fueron consideradas para ningún tipo de actividad de reforestación lo que representa el 88.17% del total de la microcuenca. A estas coberturas se suman el agua, centros poblados, asentamientos humanos, vegetación leñosa y vías que representan el 6.46% del total de la microcuenca (Figura 4).

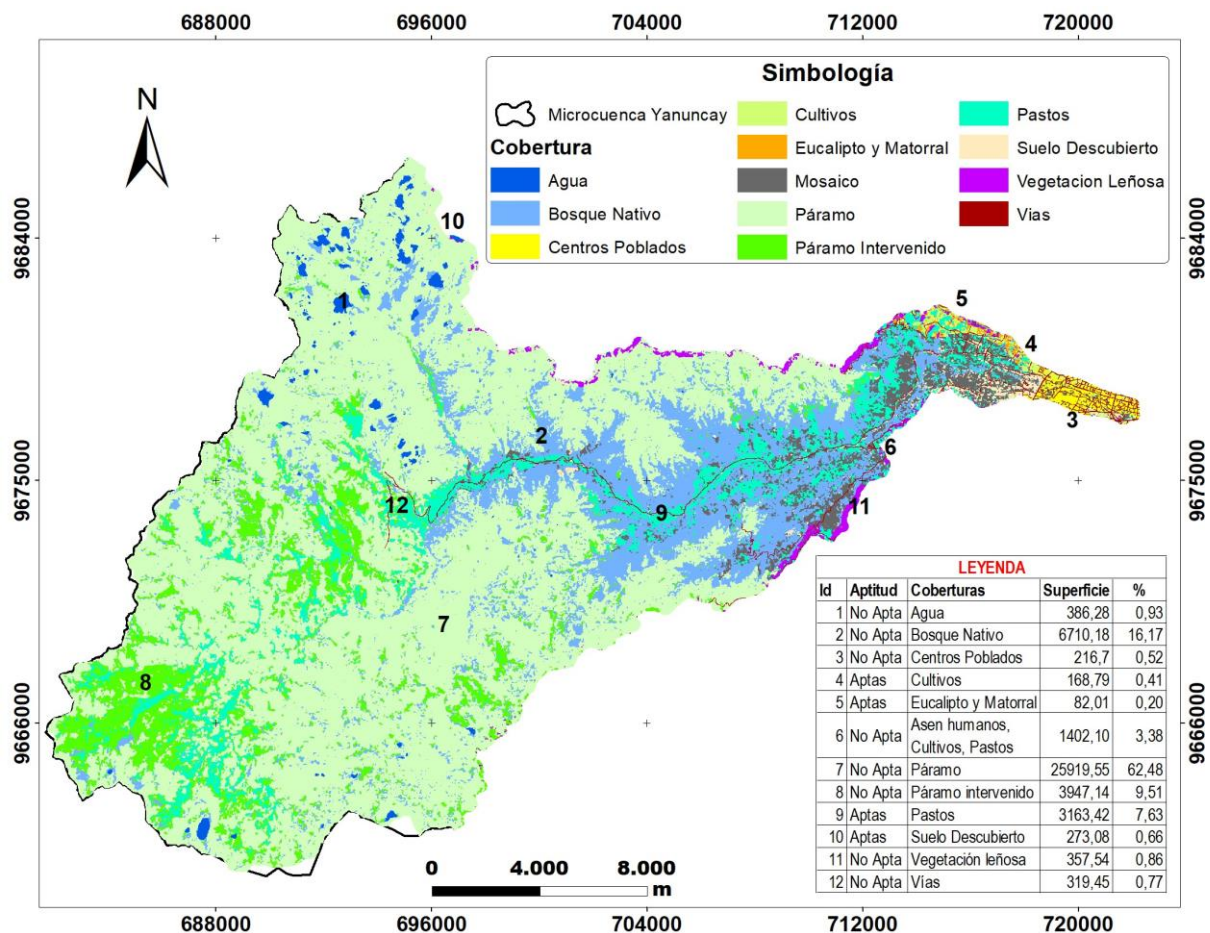


Figura 4. Mapa de Cobertura Vegetal de la Microcuenca del Río Yanuncay.

Pendientes

La primera categoría de pendiente corresponde a zonas aptas para reforestación con fines comerciales (0 a 50°) y presentó la mayor superficie en la microcuenca del río Yanuncay, representa 37401.41 ha o el 90.16% de la superficie total y que es apta para este uso. La segunda categoría de pendiente corresponde a zonas aptas para reforestación con fines de

restauración (>50°) y se obtuvo un total de 5515.82 ha lo que representa el 13.30% de la superficie total (Figura 5).

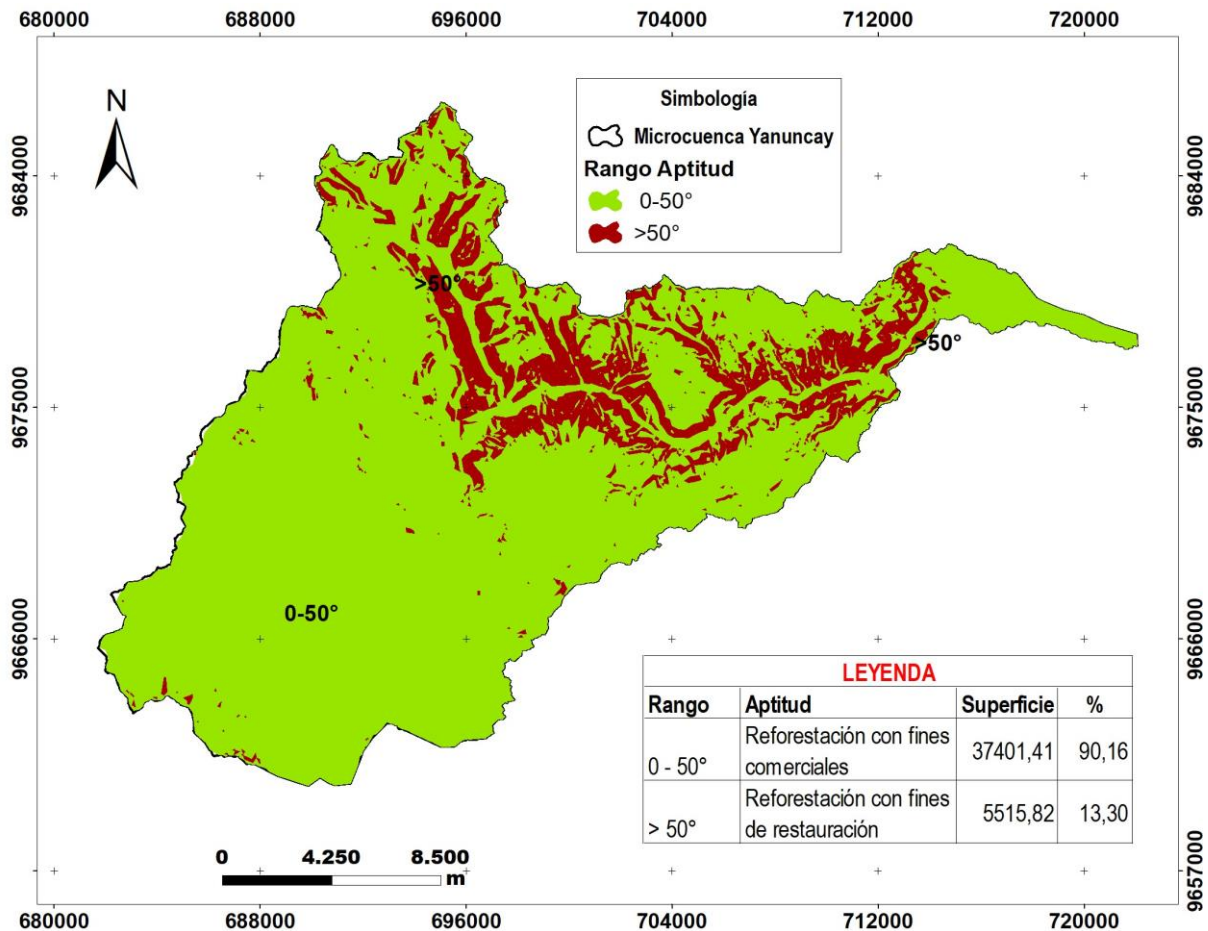


Figura 5. Mapa de Pendientes de la Microcuenca del Río Yanuncay.

Zonas de protección Hídrica

En la capa de zonas de protección hídrica, representada por el río Yanuncay y quebradas, que representa el 568.61 ha, que representa el 1.37% de la superficie total de la microcuenca es apta para reforestación con fines de restauración.

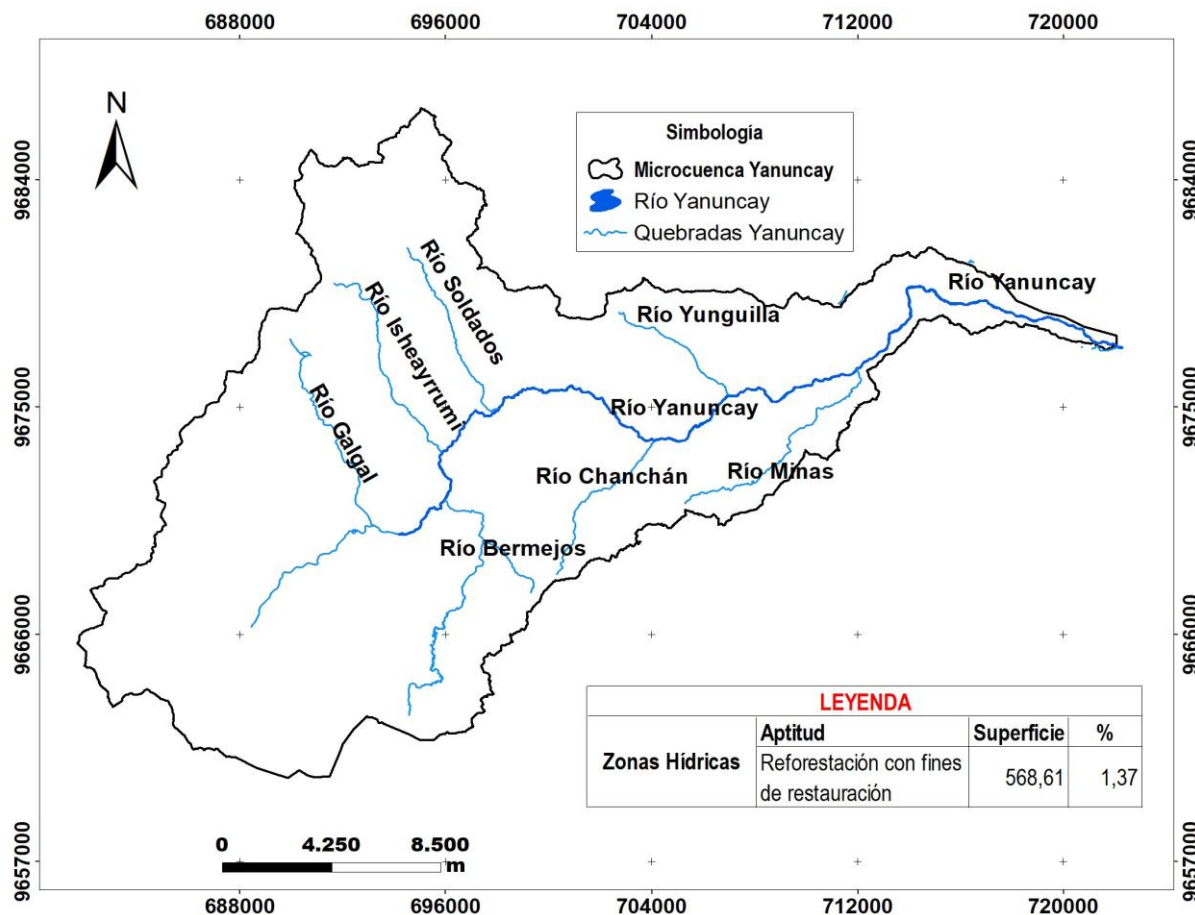


Figura 6. Mapa de Zonas de Protección Hídrica de la Microcuenca del Río Yanuncay.

Mapa potencial de Reforestación con fines Comerciales y de Restauración

En cuanto al mapa potencial de reforestación con fines comerciales y de restauración, la primera categoría de reforestación con fines comerciales registró la mayor cantidad de superficie dentro de la microcuenca del río Yanuncay con 2987.93 ha, que representa el (7.20%) la segunda categoría de reforestación con fines de restauración con un área de 357,52 ha, que representan el (0.86%). Las zonas no aptas para ninguno de los dos tipos de reforestación representaron la mayor superficie de 37851.74 ha que representa el 91.24% del área total (figura 7).

Tabla 4. Representación de las áreas potenciales a través de un código y por ha.

Áreas potenciales	Código numérico de las áreas potenciales	Área (ha)
No aptas para reforestación	AP0+CV0+Pd0+Zph0	37851.74
Reforestación con fines comerciales	AP1+CV1+Pd1+Zph1	2987.93
Reforestación con fines de restauración	AP2+CV2+Pd2+Zph2	357.52

Dónde: **AP**: Áreas protegidas; **CV**: Cobertura vegetal; **Pd**: Pendientes; **Zph**: Zonas de protección hídrica. **0**: Zonas no aptas para reforestación; **1**: Zonas aptas para reforestación con fines comerciales; **2**: Zonas aptas para reforestación con fines de restauración.

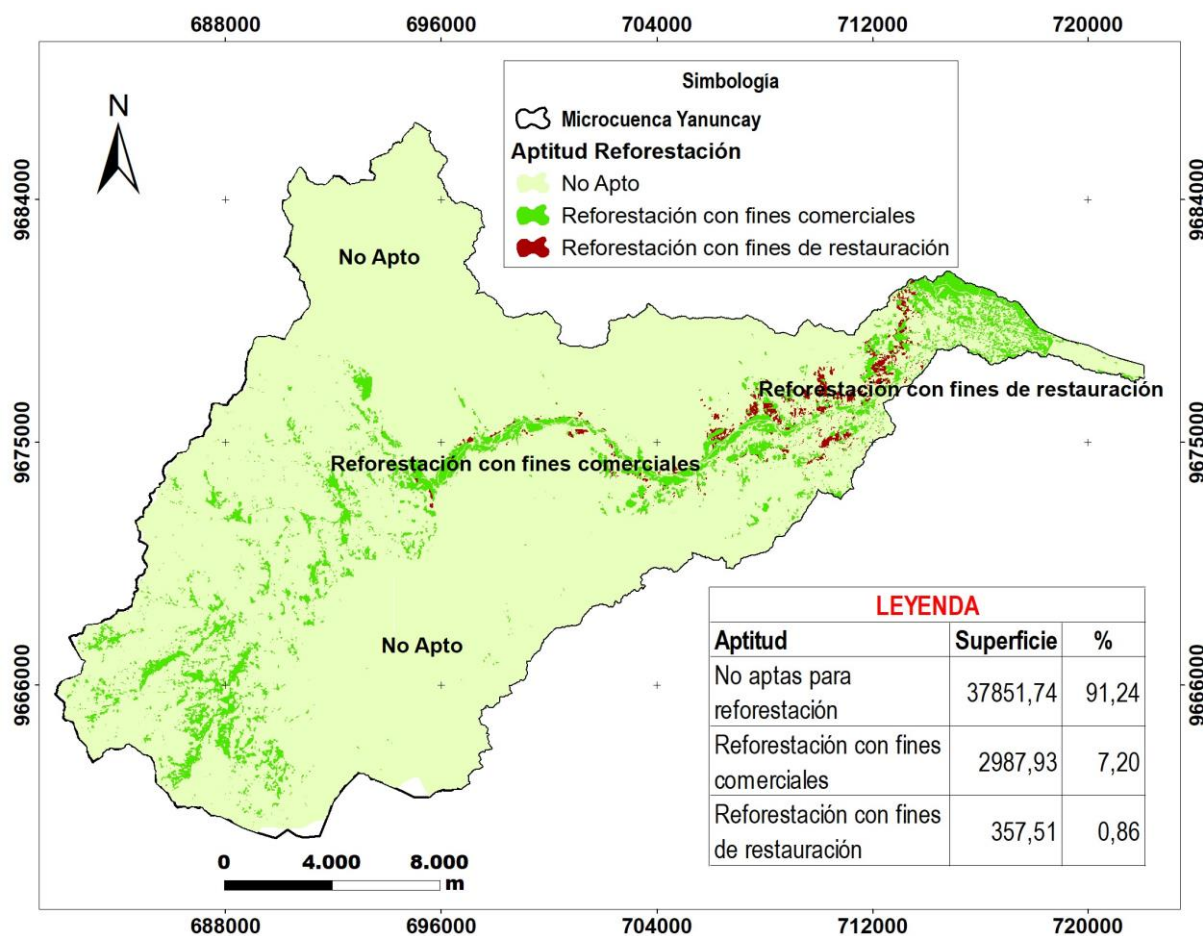


Figura 7. Mapa de Áreas Potenciales de Reforestación de la Microcuenca del Río Yanuncay.

Resultados para el Objetivo 2

Pedología

En cuanto a pedología, el orden de suelo que representó la mayor superficie dentro de la microcuenca del Río Yanuncay fueron Andisoles con un área de 32791.03 ha que representa el 79.04% del área total de la microcuenca, seguido de Tierras Misceláneas con 6181.29 ha con 14.90%. Con respecto a Inceptisoles, Mollisoles, Entisoles y Vertisoles representan áreas por debajo de las 600 ha que representan el 3.58% del área total de la microcuenca y por último zonas no aplicables que representaron un área de 1030.39 ha con el 2.48% del área total de la microcuenca.

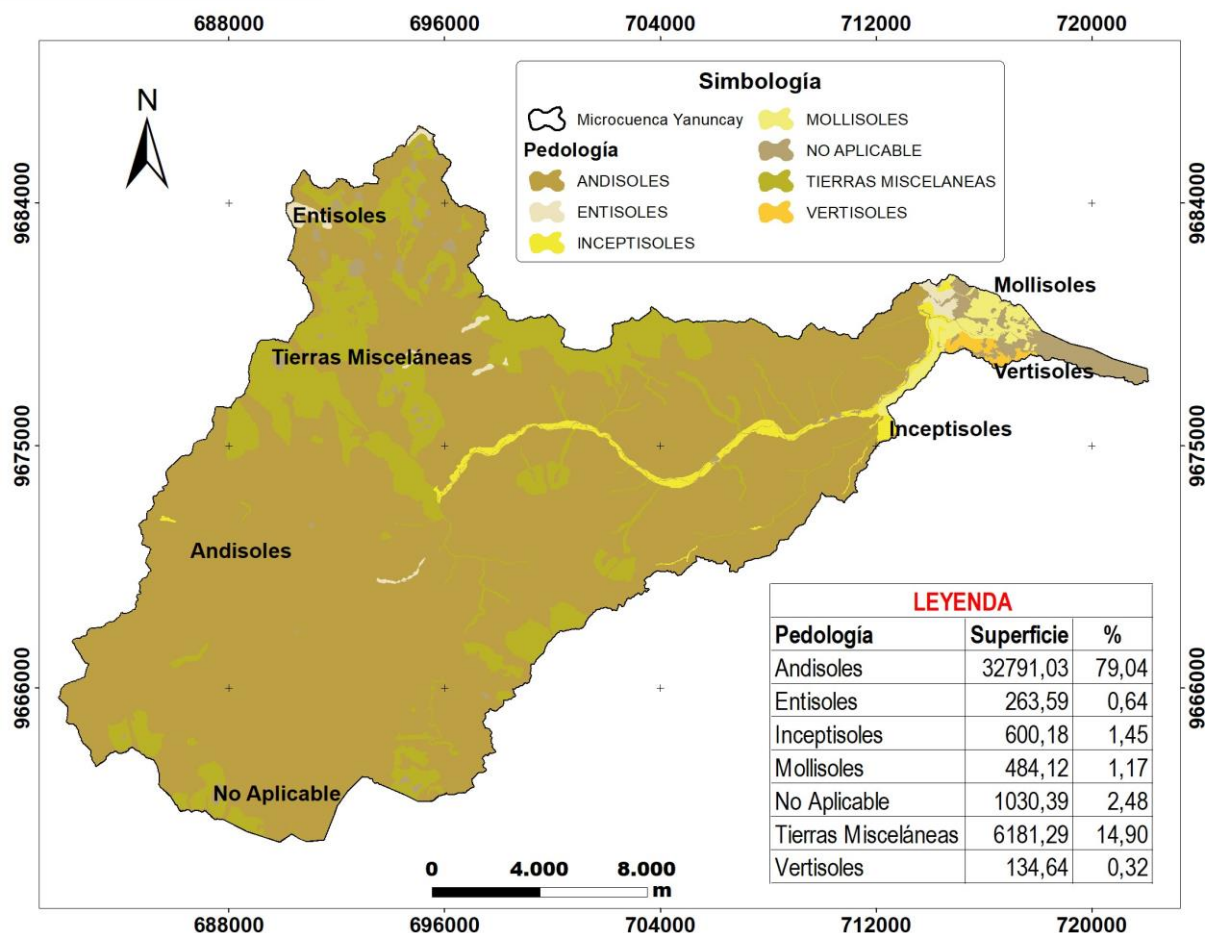


Figura 8. Mapa de Pedología de la Microcuenca del Río Yanuncay.

Mapa de áreas potenciales con diferentes tipologías de suelos

El mapa final de áreas potenciales con las diferentes tipologías de suelos (APTS) se lo categorizó en zonas aptas para reforestación con fines comerciales y zonas aptas para reforestación con fines de restauración, donde el APTS, RFC_AND registró la mayor cantidad de superficie dentro de la microcuenca con 2013.65 ha que representa el 4.85% del área total de la microcuenca, seguido por RFC_INCP con 335.04 ha, RFC_MOLL con 174 ha, RFC_TRMIC con 163.18 ha, RFC_ENT con 52.27 ha y RFC_VERT con 34.15 ha que representa el 1.83% del área total. Para las zonas aptas de reforestación con fines de restauración la categoría de RFR_AND que registró la mayor cantidad de superficie dentro de la microcuenca con 340.62 ha que representa el 0.82% del área total de la microcuenca. Las APTS de RFR_INCP, RFR_MOLL, RFR_TRMIC representaron áreas menores a 50 ha que representa el 0.23% del total de la microcuenca. Para la categoría de Zona no apta registró la mayor cantidad de superficie con 37851.74 ha que representa el 91.24% del área total de la microcuenca (figura 9).

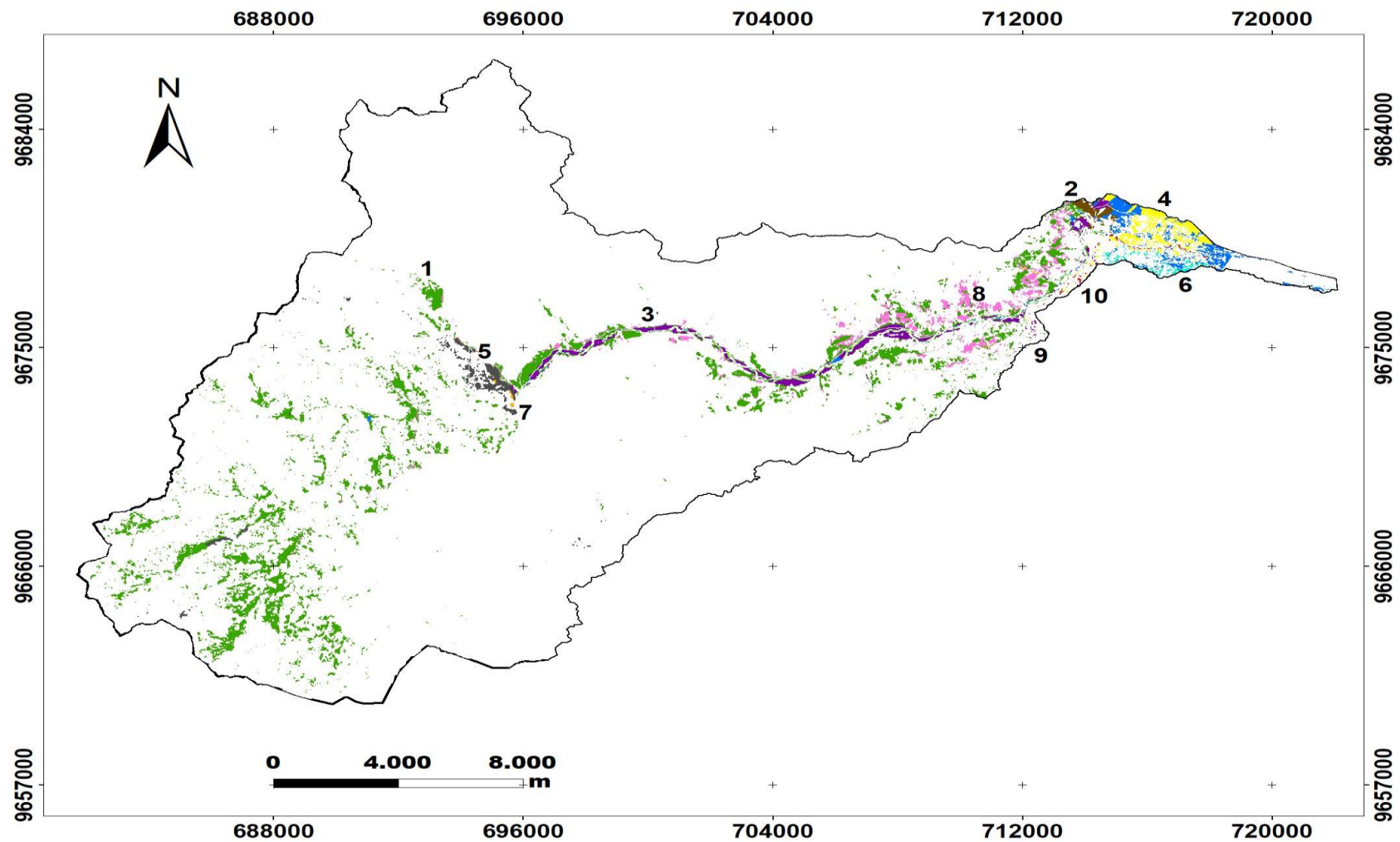


Figura 9. Mapa para reforestación en APTS de la Microcuenca del Río Yanuncay.

Tabla 5. Zonas aptas para reforestación con fines comerciales y con fines de restauración, con las diferentes tipologías de suelo APTS.

LEYENDA				
Id	Aptitud suelos	Aptitud Suelos	Superficie (ha)	%
1	RFC_AND	Reforestación con fines comerciales en Andisoles	2013.65	4.85
2	RFC_ENT	Reforestación con fines comerciales en Entisoles	52.27	0.13
3	RFC_INCP	Reforestación con fines comerciales en Inceptisoles	335.04	0.81
4	RFC_MOLL	Reforestación con fines comerciales en Mollisoles	174	0.42
5	RFC_TRMIC	Reforestación con fines comerciales en Tierras Misceláneas	163.18	0.39
6	RFC_VERT	Reforestación con fines comerciales en Vertisoles	34.15	0.08
7	RFR_TRMIC	Reforestación con fines de restauración en Tierras Misceláneas	10.17	0.02
8	RFR_AND	Reforestación con fines de restauración en Andisoles	340.62	0.82
9	RFR_INCP	Reforestación con fines de restauración en Inceptisoles	42.25	0.1
10	RFR_MOLL	Reforestación con fines de restauración en Mollisoles	43.13	0.1
	N_A	No Apto	37851.74	91.24

Variables edáficas de suelos

Análisis de normalidad

La prueba de Shapiro-Wilks mostró que los datos del pH del suelo no fueron normales. Opuestamente, la densidad aparente, conductividad eléctrica y contenido de materia orgánica mostraron una distribución normal $P > 0.05$ (Anexo A).

Densidad aparente

La densidad aparente fue estadísticamente diferente (Anova, DGC, Fisher, $p < 0.0001$) con mayor valor ($1.23 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$) para las APTS delimitadas para reforestación con fines comerciales en suelos Mollisoles (RFC_MOLL) (Figura 10). Los menores valores fueron para reforestación con fines comerciales en APTS con suelos Andisoles (RFC_AND) con $0.50 \pm 0.11 \text{ g/cm}^3$.

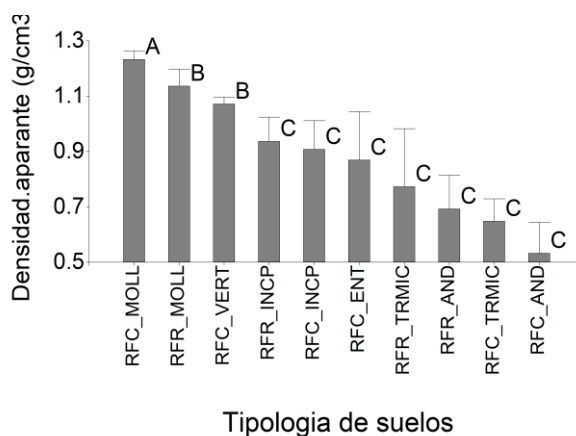


Figura 10. Promedios \pm error estándar de la densidad aparente obtenida en las áreas de reforestación en APTS.

Donde **RFC_MOLL**: Reforestación con fines comerciales en Mollisoles; **RFR_MOLL**: Reforestación con fines de restauración en Mollisoles; **RFC_VERT**: Reforestación con fines comerciales en Vertisoles; **RFR_INCP**: Reforestación con fines de restauración en Inceptisoles; **RFC_INCP**: Reforestación con fines comerciales en Inceptisoles; **RFC_ENT**: Reforestación con fines comerciales en Entisoles; **RFR_TRMIC**: Reforestación con fines de restauración en Tierras Misceláneas; **RFR_AND**: Reforestación con fines de restauración en Andisoles; **RFC_TRMIC**: Reforestación con fines comerciales en Tierras Misceláneas y **RFC_AND**: Reforestación con fines comerciales en Andisoles.

Textura

En cuanto a la textura se distinguieron seis clases texturales en los sitios de donde se tomaron las muestras de suelo. Estas clases fueron: Franco, franco limoso, franco arenoso, franco arcillo arenoso, arenoso franco y arcilloso. Cabe mencionar que las clases dominantes fueron franco, franco limoso y franco arenoso. Las texturas de suelo no dominantes fueron arenoso franco, franco arcillo arenoso y arcilloso (Ver Anexo K).

pH

El pH fue estadísticamente significativo (GLM, distribución gama, post hoc DFG) con los valores más altos (7.33 ± 0.33) para las APTS de reforestación con fines comerciales en suelos Mollisoles (RFC_MOLL). Los menores valores fueron para las APTS reforestación con fines comerciales en tierras misceláneas (RFC_TRMIC) con 6.00 ± 0.27 (Figura 11).

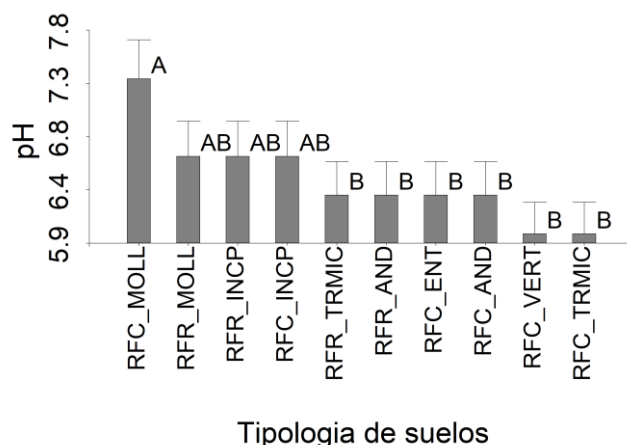


Figura 11. Promedios pH \pm error estándar del pH obtenido en APTS.

Dónde: **RFC_MOLL:** Reforestación con fines comerciales en Mollisoles; **RFR_MOLL:** Reforestación con fines de restauración en Mollisoles; **RFR_INCP:** Reforestación con fines de restauración en Inceptisoles; **RFC_INCP:** Reforestación con fines comerciales en Inceptisoles; **RFR_TRMIC:** Reforestación con fines de restauración en Tierras Misceláneas; **RFR_AND:** Reforestación con fines de restauración en Andisoles; **RFC_ENT:** Reforestación con fines comerciales en Entisoles; **RFC_AND:** Reforestación con fines comerciales en Andisoles; **RFC_VERT:** Reforestación con fines comerciales en Vertisoles y **RFC_TRMIC:** Reforestación con fines comerciales en Tierras Misceláneas.

Conductividad eléctrica

En la variable de conductividad eléctrica no se encontraron diferencias significativas (Anova, DGC, Fisher). Los mayores valores se obtuvieron para las APTS reforestación con fines de restauración en tierras misceláneas (RFR_TRMIC) con $(0.18 \pm 0.03 \text{ dS/m})$ y el menor valor fue para reforestación con fines comerciales en suelos Entisoles (RFC_ENT) con $(0.05 \pm 0.03 \text{ dS/m})$.

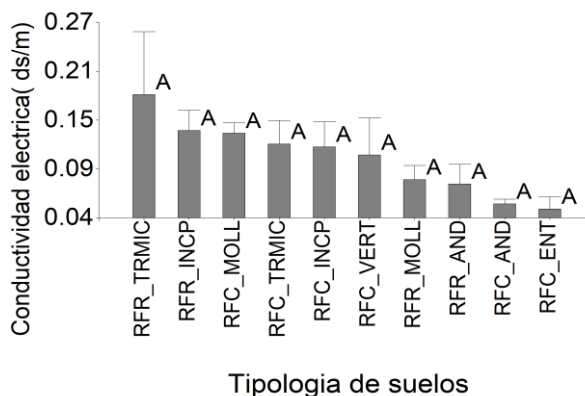


Figura 12. Promedios conductividad eléctrica \pm error estándar de la CE obtenida en las áreas APTS.

Donde **RFR_TRMIC**: Reforestación con fines de restauración en Tierras Misceláneas; **RFR_INCP**: Reforestación con fines de restauración en Inceptisoles; **RFC_MOLL**: Reforestación con fines comerciales en Mollisoles; **RFC_TRMIC**: Reforestación con fines comerciales en Tierras Misceláneas; **RFC_INCP**: Reforestación con fines comerciales en Inceptisoles; **RFC_VERT**: Reforestación con fines comerciales en Vertisoles; **RFR_MOLL**: Reforestación con fines de restauración en Mollisoles; **RFR_AND**: Reforestación con fines de restauración en Andisoles; **RFC_AND**: Reforestación con fines comerciales en Andisoles y **RFC_ENT**: Reforestación con fines comerciales en Entisoles.

% de materia orgánica

La materia orgánica fue estadísticamente significativa (Anova, DGC, Fisher, $p < 0.0001$) donde se obtuvo los mayores valores para las APTS de reforestación con fines comerciales en suelos Andisoles (RFC_AND) con (36.67 ± 8.54) . Los valores más bajos fueron de 5.13 ± 1.07 para las APTS de reforestación con fines comerciales en suelos Vertisoles (RFC_VERT).

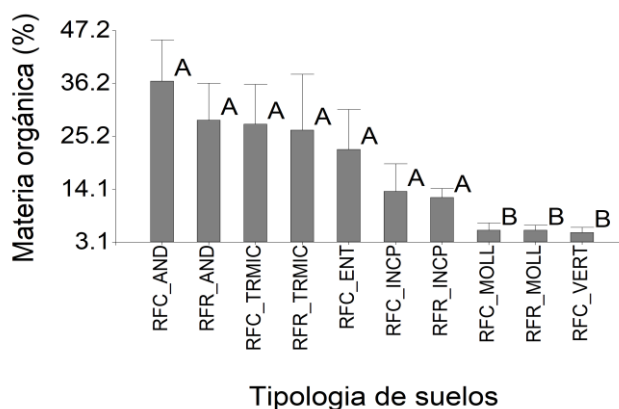


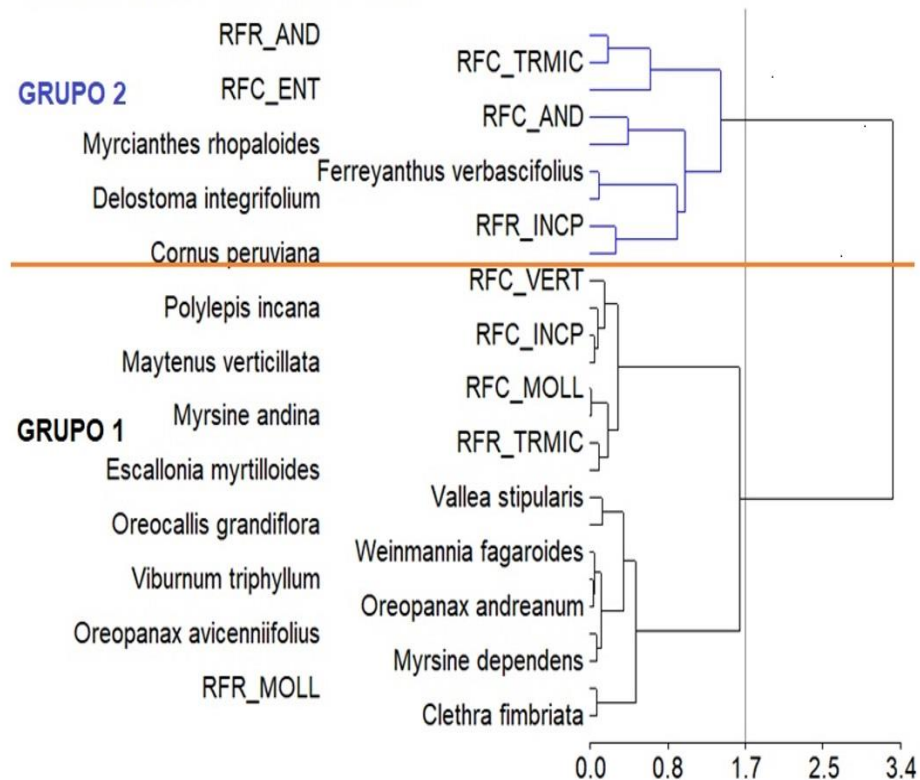
Figura 13. Promedios del porcentaje de materia orgánica \pm error estándar de la materia orgánica obtenida en las áreas APTS.

Dónde: **RFC_AND**: Reforestación con fines comerciales en Andisoles; **RFR_AND**: Reforestación con fines de restauración en Andisoles; **RFC_TRMIC**: Reforestación con fines comerciales en Tierras Misceláneas; **RFR_TRMIC**: Reforestación con fines de restauración en Tierras Misceláneas; **RFC_ENT**: Reforestación con fines comerciales en Entisoles; **RFR_ENT**: Reforestación con fines de restauración en Entisoles; **RFC_INCP**: Reforestación con fines comerciales en Inceptisoles; **RFR_INCP**: Reforestación con fines de restauración en Inceptisoles; **RFC_MOLL**: Reforestación con fines comerciales en Mollisoles; **RFR_MOLL**: Reforestación con fines de restauración en Mollisoles y **RFC_VERT**: Reforestación con fines comerciales en Vertisoles.

Especies recomendadas para reforestar

El análisis de conglomerados identificó dos grupos semejantes de especies y APTS. En el grupo uno, sobresalen la mayor cantidad de especies asociadas al mayor número de APTS (Figura 14). En el grupo dos, solo se muestran cuatro especies asociadas a cinco APTS con base a la similitud en sus variables edáficas.

Ward, distancia: (Correlación de Pearson (1-abs(S)))



APTS – Áreas potenciales para reforestación con sus tipologías de suelos

Especies

Grupo 2

- RFR_AND – Reforestación para restauración en Andisoles
- RFC_ENT - Reforestación para comercialización en Entisoles
- RFR_TRMIC – Reforestación para restauración en tierras misceláneas
- RFC_AND - Reforestación para comercialización en Andisoles
- RFR_INCP – Reforestación para restauración en Inceptisoles

Myrcianthes rhopaloides
Delostoma integrifolium
Cornus peruviana
Ferreyranthus verbascifolius

Grupo 1

- RFR_MOLL – Reforestación para restauración en Mollisoles
- RFC_VERT – Reforestación para comercialización en Vertisoles
- RFC_INCP – Reforestación para comercialización en Inceptisoles
- RFC_MOLL - Reforestación para comercialización en Mollisoles
- RFR_TRMIC – Reforestación para restauración en tierras misceláneas

Polylepis incana
Maytenus verticillata
Myrsine andina
Escallonia myrtilloides
Oreocallis grandiflora
Viburnum triphyllum
Oreopanax avicenniifolius
Vallea stipularis
Weinmannia fagaroides
Oreopanax andreanum
Myrsine dependens
Clethra fimbriata

Figura 14. Análisis de conglomerados de las especies a reforestar con base a cada APTS.

Discusión

En este estudio se obtuvieron resultados relevantes en el desarrollo de esta tesis. En el primer objetivo se logró diseñar y analizar mapas temáticos que sirvieron como base hacia el desarrollo secuencial del segundo objetivo. Estos mapas fueron los siguientes: mapa de áreas protegidas, mapa de cobertura vegetal, mapa de zonas de protección hídrica, mapa de pendientes y el mapa de áreas potenciales de reforestación. En cuanto al segundo objetivo se logró determinar el mapa de áreas potenciales de reforestación en diferentes tipologías de suelos existentes en la microcuenca del río Yanuncay. Seguidamente y asociado con las tipologías se evaluó las características físicas (densidad aparente, % de MO) y químicas (pH, CE, textura) dentro de los suelos correspondientes a las tipologías. En base a los análisis y resultados obtenidos se realizó un análisis multivariado con la finalidad de encontrar características edáficas afines entre los bosques naturales donde crecen especies nativas con los mencionados resultados en áreas potenciales de reforestación. Estas indagaciones exploratorias permitieron recomendar especies forestales nativas, que pueden ser utilizadas con el propósito de reforestar dentro de la microcuenca.

Áreas potenciales para reforestación

Se han identificado áreas potenciales sobre los dos tipos de reforestación: 1) con fines comerciales y 2) con fines de restauración ecológica. Además, no se ha considerado sitios y variables en donde no se puedan realizar ningún tipo de intervención antropogénica, como las áreas protegidas, zonas de protección hídrica y zonas con cobertura vegetal tales como: páramos, vegetación leñosa y bosques nativos. En las áreas protegidas por el hecho de ser centros de conservación de la biodiversidad *en situ* no se puede hacer ningún tipo de actividad antropogénica que cause transformaciones al paisaje natural y modifique la dinámica, estructura y funcionalidad del ecosistema (MAE, 2013). En la cobertura vegetal también se identificó los pastos (7.63%) y cultivos (0.41%) de la superficie total de la microcuenca, en donde se pueden realizar los dos tipos de reforestación, estos datos fueron obtenidos en el mapa de cobertura vegetal con la calculadora de campos. Asociado con la reforestación, en los pastizales o zonas de cultivos también se debe considerar la implementación de sistemas agroforestales, donde las especies forestales leñosas juegan un rol importante dentro del manejo de rumiantes (Zambrano, 2017). Esto se debe a que las hojas de ciertas especies sirven como forraje y además aportan nutrientes al suelo mediante su hojarasca, mejorando la calidad de los pastos y cultivos (Alonso, 2014).

Con respecto al mapa potencial de reforestación con fines comerciales y de restauración se pudo integrar variables como áreas protegidas, cobertura vegetal, pendientes y zonas de

protección hídrica. Estas mismas variables fueron consideradas en un estudio similar por Guamán & IpiALES (2014) quienes identificaron áreas potenciales con fines de reforestación. Donde utilizaron especies nativas de doble propósito (uso) y aplicaron un análisis multicriterio considerando la pendiente y cobertura con lo que determinaron zonas aptas de reforestación. Caballero (2018), afirma que las variables descritas anteriormente son indispensables al momento de establecer plantaciones forestales, comerciales o restauración, y que influyen en el desarrollo y productividad de las especies plantadas.

La pendiente considerada y diferenciada en esta investigación, de manera general es importante con el fin de emprender actividades productivas y de conservación. En la presente investigación se identificó áreas potenciales para reforestación con fines comerciales entre los rangos de pendiente entre 0 y 50° y restauración con una pendiente mayor a 50°, lo cual es dispuesto por las autoridades ambientales. Esto concuerda con lo descrito por Paredes (2014) quien uso similares criterios, dispuestos por la autoridad ambiental el Ecuador en su acuerdo ministerial 002 (MAE, 2012). El establecimiento de plantaciones forestales en sitios con topografía accidentada es favorable hacia la restauración ecológica, debido a que las raíces de los árboles con favorable desarrollo permiten disminuir la erosión, degradación y evitan grandes deslizamientos de tierra en áreas intervenidas antropogénicamente o naturalmente (Caballero, 2018).

Especies forestales con base a la fertilidad de suelos

En esta tesis, se han recomendado especies forestales en base a los resultados edáficos obtenidos en bosques donde crecen naturalmente especies nativas de la microcuenca del Río Yanuncay. De acuerdo con la metodología desarrollada, las áreas aptas a reforestar dependieron directamente de las descripciones y análisis de zonas con áreas protegidas, cobertura vegetal, zonas de protección hídrica, pendientes, y además de ser precisos con las especies potenciales se consideró la tipología de suelos. La finalidad de realizar un mapa de zonas potenciales a reforestar es de suma importancia hacia el eficiente manejo, conservación ambiental y el incremento de la cobertura vegetal. Lamentablemente en la microcuenca del río Yanuncay existen coberturas vegetales naturales susceptibles a deforestación sea por incendios forestales o por el avance de la frontera agrícola (Cobos & Viñanzaca, 2022). Sobre esto también resalta la falta de planificación y ordenamiento forestal que permita tener claro los sitios donde se pueden realizar actividades de reforestación, de tal forma que su implementación sea eficiente y exitosa a mediano y largo plazo.

Con respecto a las variables de suelos analizadas en este estudio en cuanto a los diferentes tipos de reforestación, en resultados de otro estudio, la densidad aparente y el % de materia

orgánica están negativamente correlacionados, es decir los suelos que presentan un alto contenido de materia orgánica tienen una baja densidad aparente; opuestamente los suelos con un bajo contenido de materia orgánica presentan una alta densidad aparente (Llambí et al., 2012). Esto lo podemos corroborar en nuestros resultados, en un suelo con tipología Andisol presente en el páramo, se obtuvo una densidad aparente de 0.50 ± 0.11 g/cm³ y un porcentaje de materia orgánica de $36.67 \pm 8.54\%$. Al existir suelos con altos contenidos de materia orgánica es sinónimo de un suelo rico en microorganismos y nutrientes, lo que beneficia el desarrollo ecofisiológico de las plantas que vayan a ser establecidas en una zona determinada (Muñoz, 2017). El pH más alto fue el área potencial de reforestación con su tipología de suelo en suelos de tipo Mollisoles con 7.33 ± 0.33 cuyo valor se lo considera neutro y, por lo tanto, es potencialmente óptimo ante el desarrollo de especies en la microcuenca del río Yanuncay. Esto se debe ya que el pH con valores entre (6 – 7) facilita la mineralización y por lo tanto una óptima disponibilidad de nutrientes o minerales en el suelo lo cual implicará un correcto desarrollo de las plantas (Sánchez et al., 2011). En la conductividad eléctrica, todos los valores registrados se encontraron por debajo de (<2 dS/m), lo que indica a suelo no salino (suelo normal) (Soriano, 2018). No se registraron suelos con exceso de sales (>2 dS/m), lo que es perjudicial para el crecimiento adecuado de las plantas y la actividad microbiana en el suelo (Cremona & Enríquez, 2020).

Las especies que se recomendó en cuanto a reforestación en este estudio son especies que se encuentran distribuidas en la microcuenca en estado natural, y cuyos valores edáficos fueron consultados y obtenidos en investigaciones previas desarrolladas en ecosistemas similares (Mosquera & Piedra, 2020). Por lo tanto, a los valores edáficos obtenidos se los considera como óptimos para su establecimiento y desarrollo de las respectivas especies. Algunas de las especies consideradas, no solo cumplirían con el rol de reforestarse, sino también aportarían otros beneficios por ser especies doble propósito (Minga & Verdugo, 2016). Por ejemplo, *Oreopanax andreanum* es una especie utilizada para fines comerciales porque tiene una buena madera cuando se la destina para el aprovechamiento. Ecológicamente dentro del paisaje, aporta de forraje para el ganado ya que contiene gran cantidad de fibra, materia seca y proteínas (Minga & Verdugo, 2016). Otra especie doble propósito de gran importancia usada en la Sierra ecuatoriana es *Weinmannia fagaroides*; su madera es utilizada para fines comerciales debido a que es de buena calidad y se la utiliza para construcción de casas pequeñas (vigas, pilares), para elaborar timones de arado y yugos (Minga & Verdugo, 2016). Con fines de restauración es usada ya que aporta en el control de la erosión por medio de su raíz pivotante que se ramifica y puede extenderse bajo la superficie mitigando el proceso erosivo. También retiene la humedad aérea por su asociación con

briofitas, aporta al suelo de materia orgánica conforme se desarrolla la planta y es fuente de alimento para aves que ayudan a la diseminación de semillas (Puetate, 2017). Todas las especies que se recomendó en esta investigación cumplen con un rol importante dentro del ecosistema, algunas cumplen con beneficios de conservación y restauración ambiental, beneficios mediante la comercialización, beneficios medicinales, alimento para rumiantes, entre otros. (Ver Anexo J).

Conclusiones

Se analizaron cuatro variables de alta importancia con el fin de determinar áreas potenciales de reforestación con fines de comercialización y de restauración ecológica. La variable de áreas protegidas en la microcuenca del río Yanuncay estuvo representada por el Parque Nacional Cajas y el Área Nacional de Recreación Quimsacocha. Las coberturas vegetales o zonas con presencia de: cultivos, plantaciones de eucalipto y matorral, suelo descubierto y pastos, fueron consideradas como áreas aptas para reforestación de manera preliminar. Sobre estas coberturas otras variables físicas fueron indagadas para obtener una zonificación potencial más fina o específica.

La pendiente registrada de 0 a 50° fue la que obtuvo mayor superficie apta en reforestación comercial. Las zonas de protección hídrica representada a los alrededores de los causes del río Yanuncay y quebradas circundantes fueron destinadas exclusivamente como zonas aptas de reforestación con fines de restauración ecológica. En la variable de pedología se evidenció varios ordenes taxonómicos de suelos dentro de la microcuenca, en donde el orden Andisol tuvo la mayor representación en superficie dentro de la microcuenca del Río Yanuncay.

Como resultado de la unión de las variables de: áreas protegidas, cobertura vegetal, pendientes y zonas de protección hídrica se determinó sus áreas de interés a través de tres categorías: 1) No apta, 2) Reforestación con fines comerciales y 3) Reforestación con fines de restauración. Se cruzó las áreas de interés con la variable de pedología para obtener el mapa final, área potencial para reforestación por tipología de suelo (APTS) donde se encontró 37851.74 ha aptas de reforestación, donde, 2987.93 ha son hacia plantaciones con fines comerciales y 357.52 ha en cuanto a plantaciones con fines de restauración ecológica en riberas de ríos, quebradas y pendientes >50°.

En el mapa de aptitud de reforestación en las áreas potenciales para reforestación con sus tipologías de suelos (APTS) de andisol, mollisol, entisol, inceptisol, vertisol y tierras misceláneas para los dos tipos de reforestación, se pudo recomendar especies forestales doble propósito, gracias a que se comparó datos sobre la fertilidad de los suelos existentes en las diferentes tipologías taxonómicas de suelos, obtenidos en este estudio. Estos fueron comparados con los datos registrados en otros estudios en bosques naturales dentro de similares zonas de vida que la microcuenca del río Yanuncay en donde crecen naturalmente las especies seleccionadas o recomendadas. Es posible concluir que el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), permite incorporar diferentes variables espaciales, las cuales luego de su análisis y priorización permiten seleccionar sitios aptos para reforestar con fines de comercialización y restauración ecológica. Esta se constituye una técnica eficiente

de forma que la zonificación y ordenamiento forestal debería ser implementada a nivel local por los tomadores de decisiones y ejecutores de proyectos o actividades de reforestación. Una alternativa es la reforestación con fines de restauración debido a que la implementación de sistemas agroforestales ayuda a combatir los problemas de degradación de la tierra y mitigación del cambio climático.

Recomendaciones

Es importante que este estudio sea replicado como una nueva herramienta para generar estrategias de reforestación en zonas que presenten problemas de grandes deslizamientos de tierra y en zonas que han sido degradadas por incendios forestales o tala indiscriminada. Además, se recomienda en futuros estudios considerar variables adicionales como las zonas de vida de Holdridge, zonas con alto riesgo a inundaciones y zonas expuestas a deslizamientos o grandes movimientos de masa. También se recomienda una segunda fase de ejecución y monitoreo del proyecto, ya que la información generada es la línea base (diagnostico), por lo cual una segunda fase ayudara a ampliar el conocimiento de la zona y su estado, asimismo mejorar la base de datos actual.

Se recomienda el uso de imágenes satelitales para identificar las zonas que han sido deforestadas con el transcurso del tiempo y de esta manera usar estrategias para reforestar dichas zonas afectadas.

Se debe concientizar a los habitantes de la microcuenca sobre la conservación y servicios ecosistémicos que nos brindan los páramos y bosques. Reiterar que la ganadería mal manejada y ubicada, cada vez se asocia con la deforestación de ecosistemas naturales incluyendo los bosques. En consecuencia, se van perdiendo tanto páramos como especies leñosas.

Referencias

- Albarracín, S. (2019). *Propuesta de manejo integral de la subcuenca hidrográfica del Río Yanuncay, provincia del Azuay* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Cuenca - Ecuador
- Alonso, A. (2014). *Evaluación de la conectividad estructural y funcional, bajo la implementación de escenarios de reforestación en el corredor Podocarpus - Yacuambi, Ecuador* [Tesis de maestría, Turrialba-Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7138>
- Andrades, M., & Martínez, E. (2022). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen* [Universidad de la Rioja]. Logroño - España.
- Aroca, I., Medina, D., Moreira, G., & Muñoz, J. (2019). Reforestación de las cuencas hídricas del Sitio Mosquito. *Revista San Gregorio*. <https://revista.sangregorio.edu.ec/index.php/REVISTASANGREGORIO/article/view/772>
- Arriaga, V., Carvantes, V., & Vargas, A. (1994). *Manual de reforestación con especies nativas*.
- Arrigo, N., Jiménez, M., Efron, D., & Defrieri, R. (2002). Carbono de respiración de un suelo forestal y su relación con la calidad de la hojarasca. *Revista de agricultura técnica Vol 62*, 331-338. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072002000200015>
- Asanza, J., & Barahona, J. (2015). *Impacto de la cobertura vegetal y las actividades antrópicas sobre la formación del suelo en una microcuenca de páramo en la cuenca del Río Yanuncay-Quebrada Cuevas* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Cuenca Ecuador. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21930>
- Azqueta, D., Alviar, M., Dominguez, L., & O'Ryan, R. (2007). *Introducción a la economía ambiental*. <https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=43223>
- Bautista, M. (2016). *Implementación de un SIG para la compensación forestal de la concesión autopista Bogotá Girardot Tramo Fusagasugá* [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Tunja - Colombia.
- Blanco, L., Esquivel, J., & Gómez, C. (2019). Aplicación de los SIG y análisis multicriterio para seleccionar áreas óptimas para reforestar, caso de estudio. *Revista digital del grupo de estudios sobre geografía y análisis espacial con sistemas de información geográfica (GESIG)*, 62-74. https://www.researchgate.net/publication/341193304_APLICACION_DE_LOS_SIG_Y_ANALISIS_MULTICRITERIO_PARA_SELECCIONAR_AREAS_OPTIMAS_PARA_REFORESTAR_CASO_DE_ESTUDIO
- Brito, E. (2016). *Plan de ordenamiento territorial del biocorredor del río Yanuncay* [Tesis de Maestría Universidad de Cuenca]. Cuenca Ecuador <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23731>
- Bustillos, J., Valdez, J., Aldrete, A., & González, M. (2007). Aptitud de terrenos para plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden): definición mediante el proceso de análisis jerarquizado y SIG. *Revista de Agrociencia*, 41, 787-796. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952007000700787
- Caballero, P. (2018). *Evaluación de plantaciones forestales y determinación de áreas potenciales para su establecimiento con técnicas geomáticas en el sur de Oaxaca*

- [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Oaxaca-Mexico. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/16013>
- Cabezas, M., Peña, F., Díaz, C., & Moreno, A. (2008). Dosel de tres especies forestales y su relación con la adaptación a suelos degradados por la erosión. *Rev de la Universidad de Ciencias aplicadas ambientales Vol 11*, 175-185. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262008000200018
- Callejas, M. (2015). *Reforestación con fines comerciales: Situación del sector forestal industrial ecuatoriano e impacto de las políticas públicas, período 2000-2013* [Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Quito - Ecuador <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/9963>
- Calva, C. (2016). *Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalados en control de la acidez de un suelo ácido de Loreto, Orellana* Universidad Central del Ecuador]. Quito - Ecuador
- Caranqui, J. (2017). Árboles y arbustos nativos potenciales para reforestación en la Sierra Central de Ecuador. *Enfoque UTE*, 8(5), 103-109.
- Carrera, B. (2008). *Proyecto de reforestación y conservación de los bosques secundarios y terciarios de los cantones de Puyo y Tena para neutralizar el dióxido de carbono producido por el turista extranjero en su transportación aérea al Ecuador* Universidad Internacional SEK]. Quito - Ecuador. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2308>
- Cerón, Z. (2021). *Áreas potenciales para plantaciones forestales con especies nativas en la provincia de Talara-Piura* [Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Lima - Perú. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4902>
- Chuncho, C., & Chuncho, G. (2019). Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. *Bosques latitud cero*, 9, 71-83. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/686>
- Cobos, E., & Viñanzaca, J. (2022). *Identificación de áreas potenciales para incendios forestales, basado en variables climáticas, topográficas y poder calorífico de la vegetación, en la microcuenca del Río Yanuncay* [Pregrado, Universidad de Cuenca]. Cuenca - Ecuador. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/40146>
- Cocha, J. (2009). *Estado actual de la calidad físico-química, bacteriológica y biológica del agua de la subcuenca del río Yanuncay en dos estaciones climáticas (invierno y verano) del cantón Cuenca provincia del Azuay-Ecuador* [Pregrado, Universidad del Azuay]. Cuenca - Ecuador. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/137>
- Cremona, M., & Enríquez, A. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *INTA EEA Bariloche, Área de Recursos Naturales*, 5-8. <https://api.core.ac.uk/oai/oai:localhost:20.500.12123/7709>
- Díaz, A. (2018). *Caracterización de los suelos de la Amazonía ecuatoriana*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5446>
- Domínguez, J. (2000). *Breve introducción a la cartografía y a los sistemas de información geográfica (SIG)* (CIEMAT, Ed.).
- Effron, D., Jiménez, M., Defrieri, R., & Prause, J. (2005). Relación de la Actividad de Fosfatasa Ácida con Especies Forestales Dominantes y con Algunas Propiedades del Suelo de un Bosque Argentino. *Rev de información tecnológica, Vol 17*, 3-7. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000100002>

- FAO. (2015). *Año internacional de los suelos*. Retrieved 6 de Julio from <https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/285875/>
- FAO. (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*.
- FAO, & Mundial, B. (2012). *Evaluación del impacto del cobro por derechos de aprovechamiento de Madera en Pie y otras tasas (MaPoTs) sobre el manejo forestal en Ecuador*. <https://www.fao.org/publications/card/es/c/87d77fd0-f374-4431-bf7d-a420d26fe893/>
- Fiallos, L., Flores, I., Duchí, N., Flores, C., Baño, D., & Estrada, L. (2015). Restauración ecológica del suelo aplicando biochar (carbono vegetal), y su efecto en la producción de *Medicago sativa*. *Ciencia y Agricultura (Rev Cien Agri) Vol. 12*, 13-20. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_agricultura/article/view/4349/3729
- Fiallos, L., & Santillán, V. (2019). *Propuesta de diseño para la reforestación con especies nativas en la microcuenca del río Pasurco, comunidad Murialdo, parroquia Fátima, cantón y provincia de Pastaza* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal Amazónica]. Pastaza - Ecuador
- Gómez, D. (2020). *Determinación de las Zonas con mayor Potencial de reforestación en la Jurisdicción del Batallón de Infantería No 38 Miguel Antonio Caro* [Pregrado, Universidad de Cundinamarca]. Cundinamarca - Colombia. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/3435>
- González, R., Treviño, E., Aguirre, O., Jiménez, J., Cantú, I., & Foroughbakhch, R. (2004). Rodalización mediante sistemas de información geográfica y sensores remotos. *Revista de investigación geográfica*, 53, 39-57. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112004000100004&script=sci_arttext
- Guamán, C., & Ipiates, F. (2014). *Inventario de áreas potenciales para forestación de la microcuenca del Río Blanco de los cantones Mira y Espejo* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Ibarra-Ecuador. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2573>
- Hofstede, R., Mena, P., & Suárez, E. (2023). *Los páramos del Ecuador, pasado, presente y futuro*.
- Intriago, J. (2001). *Análisis dinámico de la deforestación en el Ecuador* [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Guayaquil - Ecuador <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/4048>
- Jadán, O., Cedillo, H., Zea, P., Quichimbo, P., Peralta, A., & Vaca, C. (2016). Relación entre deforestación y variables topográficas en un contexto agrícola ganadero, cantón Cuenca. *Bosques latitud cero*, 6. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/179/175>
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R., & Bello, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Rev. Idesia Vol. 24*, 49-61. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Lima, A., Armijos, J., Jaramillo, N., & Peña, J. (2018). Regeneración natural en zonas alteradas e identificación de especies forestales potenciales para recuperación hídrica en la microcuenca del río Jipiro, Loja, Ecuador. *Bosques latitud cero, Vol. 2*. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/494>
- Llambí, L., Soto, A., Célleri, R., Bievre, B. D., Ochoa, B., & Borja, P. (2012). *Ecología, hidrología y suelos de páramos* <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/>

- López, L., & Gómez, L. (2012). *Estudio de factibilidad de reforestación con fines comerciales municipio de la Vega* Universidad Piloto de Colombia]. Bogotá - Colombia.
- MAE. (2006). *Manejo sustentable de los bosques andinos*. <http://ecuadorforestal.org/>
- MAE. (2012). *Normativa para la zonificación de tierras para forestación y reforestación* Quito - Ecuador
- MAE. (2013). *Plan Nacional de forestación y reforestación*. Quito-Ecuador Retrieved from <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu155382.pdf>
- MAE. (2014). *Plan de restauración forestal 2014-2017*. Quito - Ecuador
- MAE. (2019). *Plan de restauración forestal 2019-2030*. Quito - Ecuador Retrieved from <https://initiative20x20.org/>
- Mafla, K. (2020). *Propuesta de ordenación forestal, en la parroquia San Isidro, cantón Espejo, provincia del Carchi*
- MAGAP. (2014). *Programa de incentivos para la reforestación con fines comerciales*. Guayaquil - Ecuador Retrieved from <http://ecuadorforestal.org/>
- Medina, J., Shultz, S., & Velázquez, S. (1998). Uso de un sistema de información geográfica en la toma de decisiones para la reforestación de una cuenca degradada. *Agroforestería en las Américas (CATIE)* 5, 26-31. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6894>
- Meza, V., Alfaro, K., Bedoya, R., Romero, M., Valerio, A., & Montenegro, P. (2019). *Reforestación comercial en Costa Rica, regiones Huetar Atlántica, Huetar Norte y Chorotega*. <https://www.fonafifo.go.cr/>
- Minga, D., & Verdugo, A. (2016). *Árboles y arbustos de los ríos de Cuenca*. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8784>
- Molina, J. (2020). *Análisis Participativo de Servicios Escosistémicos derivados del Programa Nacional de Reforestación en Manabí, Ecuador* Universidad de Barcelona]. Barcelona - España. <https://www.tdx.cat/handle/10803/672251?locale-attribute=es#page=1>
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., & Eibl, B. (2015). *Sistemas agroforestales, funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*.
- Mosquera, P., & Piedra, A. (2020). *Influencia de variables climáticas, topográficas y edáficas sobre la composición florística, diversidad de especies y densidad en bosques montanos andinos, macizo del Cajas, provincia del Azuay* Universidad de Cuenca]. Cuenca-Ecuador <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33845>
- Muñoz, J., Sáenz, T., Rueda, A., Gómez, M., Castillo, D., & Castillo, F. (2018). Áreas potenciales para plantaciones forestales con *Brosimum alicastrum* Sw., con fines de restauración. *Revista mexicana de ciencias forestales. Rev. mex. de cienc. forestales* 9, 7-35. <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i45.133>
- Muñoz, N. (2017). *Zonificación socio - ecológica de especies forestales prioritarias en el cantón Montufar, provincia del Carchi* Universidad Técnica del Norte]. Carchi - Ecuador <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6879>
- Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, J., Moreira, V., Albán, K., & Morales, F. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador *TEMAS AGRARIOS Vol. 23*, 177 - 187.
- Ordóñez, G., Valarezo, K., & Ordóñez, O. (2020). Distribución potencial de especies forestales nativas en el cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador. *Bosques latitud cero*, 10, 1-12. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/831>

- Ospino, J., & Ramos, Á. (2017). *Identificación de áreas aptas para la reforestación del bosque seco tropical en Córdoba - Colombia por medio de un sistema de información geográfico* [Tesis de posgrado Universidad de Manizales]. Manizales - Colombia.
- Paredes, H. (2014). *Plan de forestación y reforestación de la provincia de Imbabura. Consorcio de Gobiernos Autónomos del Ecuador*. Imbabura - Ecuador Retrieved from <https://www.imbabura.gob.ec/>
- Parra, P. (2018). *Identificación de áreas potenciales para reforestación con Nectandra acutifolia (Pacches) mediante la aplicación de un modelo de distribución de especies, como estrategia de conservación para el corredor ecológico del oso andino en el distrito metropolitano de Quito* [Pregrado Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Quito - Ecuador <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/14586>
- Podwojeski, P. (1996). *Los suelos de las altas tierras andinas: Los páramos del Ecuador*.
- Pozo, D. (2010). *Estudio de las áreas potenciales para la reforestación en la hacienda el Prado IASA / Sangolquí* Universidad Politécnica del Ejército]. Quito - Ecuador <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/2589>
- Puetate, G. (2017). *Translocación de plantulas de: Weinmannia rollottii, Weinmannia fagaroides, Prunus huantensis y Ocotea infrafoveolata, en un área degradada en la parroquia el Carmelo, provincia del Carchi* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Ibarra - Ecuador <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6722>
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cardenas, I., Crespo, P., & Célleri, R. (2015). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso de suelo: Páramo de Quimsacocha al Sur del Ecuador *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Vol. 42*.
- Ramírez, E. (2015). *Áreas potenciales para reforestar el municipio de San Miguel el Grande, Oaxaca* [Tesis de posgrado, Universidad Autónoma Chapingo]. Chapingo - México
- Rivera, A. (2019). *Propuesta de reforestación como alternativa para la conservación de áreas de interés estratégico en la vereda Cuatro Esquinas del municipio de Facativá, Cundinamarca* [Tesis de posgrado, Universidad del Bosque]. Bogotá - Colombia. <https://repositorio.unbosque.edu.co/discover>
- Rodrigues, F., Cardoso, S., Sothe, C., & Rafaeli, S. (2011). Evaluación de la estructura espacial de *Pinus sp.* con el uso de SIG y geoestadística. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, 1173-1178.
- Rodríguez, A., Marañón, T., Domínguez, M., Murillo, J., Jordano, D., Fernández, J., & Carrascal, F. (2009). Reforestación con arbustos para favorecer la conectividad ecológica en el Corredor Verde del Guadamar. 2-11.
- Sanabria, A. (1999). Ventajas del proceso de reforestación sobre la atenuación de la erosión y propuesta de protección y desarrollo de un área de recarga en el Valle central de Costa Rica. *Rev. Geol. Amér. Central*, 155-165. <https://doi.org/https://doi.org/10.15517/rgac.v0i19-20.8632>
- Sánchez, M. (2015). Ecuador: Revisión a las principales características del recurso forestal y de la deforestación. *Revista Científica Y Tecnológica UPSE*, 3, 41-54. <https://doi.org/https://doi.org/10.26423/rctu.v3i1.70>
- Sánchez, M. (2018). *Identificación de áreas a reforestar mediante evaluación multicriterio y sistemas de información geográficos (Caso Los Córdoba - Córdoba)* [Posgrado Universidad de Manizales]. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/4173>

- Sánchez, M., Fernández, A., & Illera, P. (1999). Los sistemas de información geográfica en la gestión forestal. *Universidad de Valladolid*, 96-99.
- Sánchez, S., Hernández, M., & Ruz, F. (2011). Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios *Revista científica de pastos y forrajes*, 4, 375-392. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942011000400001&script=sci_arttext&lng=pt
- Sarmiento, M. (2019). *Evaluación de la calidad del suelo después de la implementación del proyecto instalación reforestación con fines de protección y agroforestal para la recuperación de suelos degradados, en la comunidad de Chapacara* Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Huánuco - Perú. <https://repositorio.unheval.edu.pe/>
- Semarnat. (2010). *Prácticas de reforestación. Manual Básico*. Jalisco - México Retrieved from <https://www.gob.mx/conafor>
- Sierra, R. (2013). *Patrones y factores de deforestación en el Ecuador continental, 1990-2010 y un acercamiento a los próximos 10 años*. Quito - Ecuador Conservación Internacional Ecuador y Forest Trends
- Simoës, N., & Renison, D. (2015). ¿Cuántos años monitorear el éxito de plantaciones con fines de restauración?: Análisis en relación al micrositio y procedencia de las semillas. *Revista Bosque (Valdivia)*, 36, 315-322. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002015000200016>
- Soriano, M. (2018). *Conductividad eléctrica del suelo*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/105110>
- Toala, J. (2018). *Análisis multitemporal de la tasa de deforestación mediante sistemas de información geográfica (SIG) en la Microcuenca Cañas Calceta: ESPAM MFL*].
- Uribe, D. (2011). *Análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de restauración del paisaje forestal en la Mixteca Alta, Oaxaqueña* [Tesis de maestría en ciencias de conservación y aprovechamiento de recursos naturales, Instituto Politécnico Nacional]. Santa Cruz Xoxocotlán - Oaxaca.
- Vanegas, M. (2016). *Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias*. México Retrieved from <https://www.biodiversidad.gob.mx/>
- Varatharajaperumal, T. (2022). SIG para la gestión forestal. *Sgligis*. <https://www.sgligis.com/gis-for-forest-management/>
- Vázquez, C., Batis, A., Alcocer, M., Gual, M., & Sánchez, C. (2019). *Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación* Universidad Nacional Autónoma de México]. México.
- Villacis, D., & Albarracín, D. (2023). *Contenido de carbono en biomasa aérea y suelo, y su relación con variables climáticas en sitios reforestados en el Sur del Ecuador* Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/41783>
- Voss, O. V., Aguirre, N., & Hofstede, R. (2001). *Sistemas forestales integrales para la Sierra del Ecuador*. Proyecto de investigaciones en ecosistemas tropicales, ECOPAR. https://digitalrepository.unm.edu/abya_yala/427
- Zambrano, E. (2017). Plan Estratégico para la restauración forestal de ecosistemas terrestres húmedos en la provincia del Guayas (Ecuador). *Rev. Cient. Cien. Nat. Ambien.*, Vol 2, 82-92. <https://doi.org/https://doi.org/10.53591/cna.v11i2.268>

Anexos

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
RDUO Densidad Aparente	30	0.00	0.17	0.95	0.4620
RDUO pH	30	0.00	0.35	0.90	0.0245
RDUO Conductividad ectric.	30	0.00	0.05	0.95	0.4968
RDUO Materia Orgánica (%)	30	0.00	9.60	0.96	0.7340

Anexo A. Análisis de Normalidad con la prueba de Shapiro Wilks.



Anexo B. Toma de las muestras en campo.



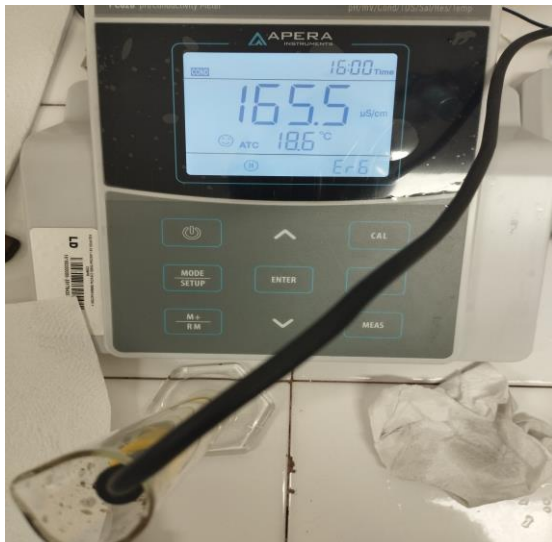
Anexo C. Tamizado y secado de las muestras recolectadas en campo.



Anexo D. Evaluación de la densidad aparente.



Anexo E. Evaluación del pH.



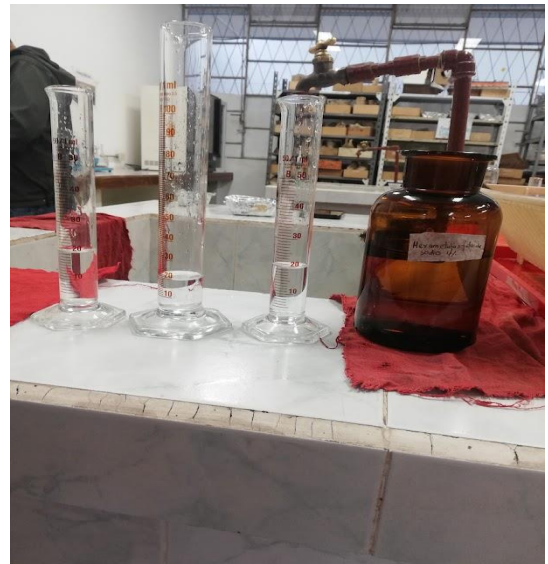
Anexo F. Evaluación de la Conductividad eléctrica.



Anexo H. Método de Bouyoucos para determinar la textura del suelo.



Anexo G. Determinación del % de Materia Orgánica.



Anexo I. Hexametáfosfato de sodio para separar las partículas.

Especies	Usos	Especies	Usos
<i>Myrcianthes rhopaloides</i>	Sus frutos son comestibles y se emplean para elaborar la tradicional colada morada. Su madera de color rosado es dura y de buena calidad, por lo cual se emplean para fabricar muebles, también en construcción como vigas, tablas y pilares (Minga & Verdugo, 2016).	<i>Polylepis incana</i>	Se emplea para la construcción de viviendas campesinas y corrales para animales; también en la elaboración de arados, cabos para herramientas manuales y para artesanías como bateas y cucharas. Es una especie muy apreciada para la elaboración de carbón y para leña. En medicina tradicional, la infusión de sus hojas se emplea para tratar gripes y para baños post parto, en emplastos sirve para tratar fracturas (Minga & Verdugo, 2016).
<i>Myrsine dependens</i>	Sus hojas y ramas en decocción se emplean para los denominados baños del post parto y sus hojas sirven para aliviar cólicos. Su madera se emplea en la elaboración de diversas artesanías como arados, cabos, caballetes, bateas y para preparar carbón (Minga & Verdugo, 2016).	<i>Oreocallis grandiflora</i>	Comúnmente sus flores mezcladas con toronjil y manzanilla, se emplea para preparar la bebida tradicional conocida como horchata. En los mercados de Cuenca se recetan sus flores en infusión para desinflamar riñones e hígado y sus hojas se emplean para aliviar afecciones de las vías urinarias. Su madera es empleada para la elaboración de artesanías y herramientas manuales como arados, chicotes, yugos y cabos (Minga & Verdugo, 2016).

<i>Cornus peruviana</i>	Se emplea como leña y para la construcción como encofrados (Minga & Verdugo, 2016).	<i>Escallonia myrtilloides</i>	Generalmente su madera ha sido empleada para postes, vigas y pequeñas construcciones. Las flores y su resina sirven para la preparación de bebidas que ayudan a curar las molestias del parto (Minga & Verdugo, 2016).
<i>Clethra fimbriata</i>	Antiguamente su madera era empleada en la construcción de viviendas campesinas para pilares, vigas y umbrales; en la actualidad su usa únicamente para leña (Minga & Verdugo, 2016).	<i>Weinmannia fagaroides</i>	Madera para construcción de casas pequeñas (vigas, pilares); para elaborar timones de arado y yugos y para leña. Medicinalmente se usa para limpias y baños de dieta. Sus hojas sirven como forraje para el ganado (Minga & Verdugo, 2016).
<i>Vallea stipularis</i>	En algunas comunidades campesinas del Azuay, sus hojas y brotes tiernos se emplean como alimento para el ganado y cuando alcanza fustes de más de 5 m, se emplea para la construcción de viviendas (Minga & Verdugo, 2016).	<i>Ferreyranthus verbascifolius</i>	Sus ramas y tallos se usan para leña y sus flores son asiduamente visitadas por abejas, por lo que tiene un uso apícola (Minga & Verdugo, 2016).
<i>Oreopanax andreanum</i>	Su madera es empleada para la elaboración de guitarras y cucharas de palo, sus inflorescencias secas se usan como adornos y sus hojas sirven como forraje para el ganado (Minga & Verdugo, 2016).	<i>Maytenus verticillata</i>	En algunas comunidades campesinas de la provincia del Azuay se emplea para la elaboración de postes y estacas debido a la dureza de su madera. En la comunidad de Saraguro se conoce como Sara y su madera sirve para la construcción (Minga & Verdugo, 2016).

<p><i>Oreopanax avicenniifolius</i></p>	<p>Su madera es buena para la elaboración de artesanías como cucharas, bateas, trompos y timones; sus hojas sirven para baños calientes que se aplican a mujeres campesinas luego del parto (Minga & Verdugo, 2016).</p>	<p><i>Myrsine andina</i></p>	<p>En medicina tradicional campesina sus hojas cocinadas sirven para preparar baños calientes que se aplican a mujeres cinco días después del parto. En Saraguro lo emplean para combatir granos y salpullidos, mediante la preparación de cataplasmas o emplastos. Antiguamente su madera era empleada para la construcción de pequeñas viviendas, pero en la actualidad se la usa solamente para leña y postes (Minga & Verdugo, 2016).</p>
<p><i>Delostoma integrifolium</i></p>	<p>Su madera es muy apreciada para la elaboración de artesanías, como cucharas de palo; también es muy apreciada como planta ornamental por sus vistosas flores (Minga & Verdugo, 2016).</p>	<p><i>Viburnum triphyllum</i></p>	<p>Antiguamente su madera se empleaba para construcciones y en usos para hilar lana o algodón. En la actualidad en comunidades como el Carmen de Aguarongo y Jadán, localizadas en la provincia del Azuay, sus hojas se emplean como forraje para ganado y cuyes; con su madera se elaboran cabos para herramientas manuales, husos y guangos (Minga & Verdugo, 2016).</p>

Anexo J. Especies recomendadas para reforestar en la microcuenca del Río Yanuncay.

Sector	Tipología	N° de muestra	Nº	Densidad aparente (g/cm3)	pH	Conductividad eléctrica (dS/m)	Clase Textural
Soldados	RFC_AND	Muestra 1	1	0,5	6,18	0,05	Franco
Cancán	RFC_AND	Muestra 2	2	0,5	6,18	0,05	Franco Limoso
Caparina	RFC_AND	Muestra 3	3	0,5	6,18	0,05	Franco Arenoso
Soldados	RFC_ENT	Muestra 1	4	0,85	6,3	0,05	Franco Arcillo Arenoso
Soldados	RFC_ENT	Muestra 2	5	0,85	6,3	0,05	Franco
Soldados	RFC_ENT	Muestra 3	6	0,85	6,3	0,05	Franco Arenoso
Cañaro	RFC_INCP	Muestra 1	7	0,89	6,54	0,12	Arenoso Franco
Bayán	RFC_INCP	Muestra 2	8	0,89	6,54	0,12	Franco Arenoso
Chictarrumi	RFC_INCP	Muestra 3	9	0,89	6,54	0,12	Franco
Barabón de San José	RFC_MOLL	Muestra 1	10	1,23	7,13	0,14	Franco Arenoso
Barabón	RFC_MOLL	Muestra 2	11	1,23	7,13	0,14	Franco Arcillo Arenoso
Capilla Minas	RFC_MOLL	Muestra 3	12	1,23	7,13	0,14	Franco Arcillo Arenoso
Papaloma	RFC_TRMIC	Muestra 1	13	0,62	6,23	0,12	Franco Limoso
Papaloma	RFC_TRMIC	Muestra 2	14	0,62	6,23	0,12	Franco Arenoso
Papaloma	RFC_TRMIC	Muestra 3	15	0,62	6,23	0,12	Franco
Yanuncay grande	RFC_VERT	Muestra 1	16	1,06	6,26	0,11	Arenoso Franco
Santa Teresita de Misicata	RFC_VERT	Muestra 2	17	1,06	6,26	0,11	Franco
Santa Teresita de Misicata	RFC_VERT	Muestra 3	18	1,06	6,26	0,11	Arenoso Franco
Soldados	RFR_AND	Muestra 1	19	0,67	6,58	0,08	Franco Limoso
Caparina	RFR_AND	Muestra 2	20	0,67	6,58	0,08	Arcilla
Soldados Chico	RFR_AND	Muestra 3	21	0,67	6,58	0,08	Franco Limoso
Capilla Minas	RFR_INCP	Muestra 1	22	0,92	6,66	0,14	Franco Limoso
Capilla Minas	RFR_INCP	Muestra 2	23	0,92	6,66	0,14	Franco Arenoso
Chugchuhuazo	RFR_INCP	Muestra 3	24	0,92	6,66	0,14	Franco
Barabón de San José	RFR_MOLL	Muestra 1	25	1,13	6,66	0,08	Franco Arenoso
Barabón	RFR_MOLL	Muestra 2	26	1,13	6,66	0,08	Arenoso Franco
Barabón de San José	RFR_MOLL	Muestra 3	27	1,13	6,66	0,08	Franco
Barabón de San José	RFR_TRMIC	Muestra 1	28	0,75	6,21	0,18	Franco Limoso
Soldados	RFR_TRMIC	Muestra 2	29	0,75	6,21	0,18	Franco Limoso
Soldados	RFR_TRMIC	Muestra 3	30	0,75	6,21	0,18	Franco

Anexo K. Valores de las variables edáficas en las zonas de estudio.