



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**PROPUESTA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN EL
CERRO MISHQUIYACU MEDIANTE LA METODOLOGÍA
MULTICRITERIO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR: PAÚL ISRAEL QUEZADA PADILLA

DIRECTOR: ING. JOSÉ LUIS SOLANO PELÁEZ

CUENCA - ECUADOR

2021

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**PROPUESTA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN EL
CERRO MISHQUIYACU MEDIANTE LA METODOLOGÍA
MULTICRITERIO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR: PAÚL ISRAEL QUEZADA PADILLA

DIRECTOR: ING. JOSÉ LUIS SOLANO PELÁEZ

CUENCA – ECUADOR

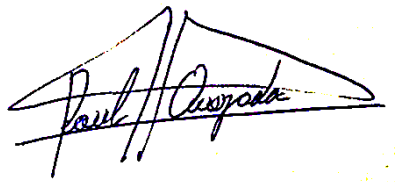
2021

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*

DECLARACIÓN

Yo, Paúl Israel Quezada Padilla, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

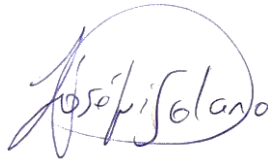
La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Paúl Israel Quezada Padilla', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat abstract.

Paúl Israel Quezada Padilla

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **PAÚL ISRAEL QUEZADA PADILLA**, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, reading "José Luis Solano Peláez", enclosed within a circular scribble.

Ing. José Luis Solano Peláez

DIRECTOR

DEDICATORIA

A mi abuelita Georgina León que está en el cielo y que en vida fue fuente de valores, conocimientos y sabiduría, este logro se lo dedico a ella, gracias por haber formado parte de mi vida.

A mi abuelito Eustorgio Padilla, por ser esa gran persona que ha estado a mi lado y que admiro mucho por su rectitud y manera de afrontar la vida.

A mis padres, que son la base de todo este proceso que comenzó en la primaria y que culmina con este proyecto.

A toda mi familia, pues sin el apoyo recibido hoy no estaría aquí.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a mis queridos padres, Rómulo Quezada y Roció Padilla, mi eterno agradecimiento, por haberme apoyado en cada momento a lo largo de este camino. Su paciencia y amor son incondicionales y sin ellos nunca hubiese logrado nada. Su esfuerzo y constancia para darme todo lo que necesitaba para estudiar fue fundamental. Gracias infinitas. Su sacrificio valió la pena y es algo que siempre llevaré en mi corazón.

A mi alma mater, la Universidad Católica de Cuenca por ser el pilar fundamental de mi educación, la cual ha sido guiada por los valores que esta noble institución promulga.

A la carrera de Ingeniería Ambiental por formarme y guiarme en todos los conocimientos ambientales aprendidos y que me llevo como futuro profesional.

A mis tutores, el Ingeniero José Solano y la Bióloga Paula Cordero, por tenerme paciencia, apoyarme y guiarme en este proyecto que en ocasiones se complicaba, pero que gracias a su ayuda pude lograr terminarlo.

Al Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica que me apoyo y abrió sus puertas desde el comienzo para realizar este proyecto de restauración ecológica.

A los Ingenieros Santiago Negrete y Diego Villacrés que me apoyaron de manera incondicional en cada fase del proyecto, mi eterna gratitud.

Un agradecimiento especial a la Ingeniera Sandra Cobos, docente de la UCACUE, que sin tener compromiso con este proyecto supo guiarme y ayudarme para poder consolidarlo y acabarlo.

A mi abuelito Eustorgio Padilla que durante todos estos años ha fungido como un segundo padre y que en innumerables ocasiones me supo apoyar y brindar su cariño.

A todos mis tíos que han sabido brindarme su apoyo y darme consejo durante gran parte de mi vida y que gracias a ello poder terminar esta etapa de mi vida. Un agradecimiento muy especial a mis tíos Manuel Quezada y Abraham Quesada que siempre me han apoyado y enseñado grandes conocimientos y valores, los admiro mucho.

A mis amigos y compañeros, Sergio Peña, Dayana Ayala, Jessica Calle, Jorge Cortez, Belén Vintimilla, Carlos Orbe y Wilo Mendieta, que siempre han estado en las buenas y las malas, muchas gracias por todo el apoyo incondicional.

Resumen

Las actividades antrópicas como la ganadería y la agricultura producen afectaciones ambientales, que convocan a la recuperación de los ecosistemas degradados por su importancia frente al equilibrio natural; esto se logra mediante programas de restauración ecológica, que comprenden acciones dirigidas a restablecer sus servicios y funciones. Por tales motivos nace la necesidad de establecer una propuesta de esta índole para el cerro Mishquiyacu, ubicado en el cantón Paute, Azuay, ya que su importancia para la conservación es fundamental pues se encuentra localizado en un área con una alta probabilidad de deslizamientos de tierra. Para llevar a cabo esta propuesta se utilizó como herramienta un Sistema de Información Geográfica en combinación con el Proceso de Análisis Jerárquico, que, mediante la ponderación de variables, como: uso de suelo, pendientes, movimientos de masas y cuerpos de agua, se procedió a determinar las áreas con una alta y baja prioridad de intervención; las primeras comprenden 13,64 ha que fueron zonificadas, para definir las estrategias de restauración activas y, en el caso de las segundas se determinó una superficie de 111,83 ha para un planteamiento de restauración pasiva.

Palabras clave: restauración ecológica, proceso de análisis jerárquico, estrategia de restauración, cerro Mishquiyacu.

Abstract

Anthropic activities such as livestock and agriculture produce environmental impacts, which call for the recovery of degraded ecosystems as a result of their importance to the natural balance; this is achieved through ecological restoration programs which include actions aimed at rehabilitating their services and functions. For these reasons, the need to establish a proposal of this nature for the Mishquiyacu hill, located in the Paute canton, Azuay since its importance for conservation is fundamental because it is located in an area with a high probability of landslides. To conduct this proposal, a Geographic Information System was employed as a tool, in combination with the Hierarchical Analysis Process, which, through the weighting of variables such as land use, slopes, mass movements, and bodies of water, proceeded to determine the areas with a high and low priority for intervention; the former comprised 13,64 ha that was zoned, to define active restoration strategies and, in the case of the latter, an area of 111,83 ha was determined for a passive restoration approach.

Keywords: ecological restoration, hierarchical analysis process, restoration strategy, Mishquiyacu hill.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VII
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABLAS	XI
LISTA DE GRAFICOS	XII
LISTA DE IMÁGENES	XIII
LISTA DE ANEXOS	XIV
CAPÍTULO I	- 1 -
1. INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1 OBJETIVOS	- 3 -
1.1.1 <i>Objetivo general.</i>	- 3 -
1.1.2 <i>Objetivos específicos.</i>	- 3 -
1.2 JUSTIFICACIÓN	- 4 -
CAPÍTULO II	- 3 -
2. MARCO TEORICO	- 3 -
2.1 ECOSISTEMA	- 3 -
2.1.1 <i>Degradación de ecosistemas.</i>	- 3 -
2.2 ACTIVIDADES DEGRADATIVAS	- 4 -
2.2.1 <i>Ganadería.</i>	- 4 -
2.2.2 <i>Agricultura.</i>	- 4 -
2.2.3 <i>Minería de áridos y pétreos.</i>	- 4 -
2.3 RESTAURACIÓN ECOLÓGICA	- 5 -
2.3.1 <i>Propuesta de restauración ecológica.</i>	- 5 -
2.3.2 <i>Etapas de una propuesta de restauración ecológica.</i>	- 6 -
2.3.3 <i>Ecosistema de referencia.</i>	- 8 -
2.3.4 <i>Áreas prioritarias para restaurar.</i>	- 9 -
2.4 ANÁLISIS MULTICRITERIO	- 9 -
2.4.1 <i>Métodos de análisis multicriterio.</i>	- 9 -
2.4.2 <i>Método de Proceso Analítico Jerárquico (AHP).</i>	- 11 -
2.5 TELEDETECCIÓN	- 12 -
2.5.1 <i>Índice NDVI.</i>	- 12 -
2.5.2 <i>Imagen satelital.</i>	- 13 -
2.5.3 <i>Zonificación.</i>	- 13 -
2.6 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	- 14 -
2.6.1 <i>ArcGIS.</i>	- 14 -
2.6.2 <i>ENVI.</i>	- 14 -
3. MARCO LEGAL	- 15 -

3.1	CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR	- 15 -
3.2	CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE	- 16 -
3.3	REGLAMENTO AL CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE	- 17 -
3.4	NORMA PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS BOSQUES ANDINOS	- 18 -
3.5	DECRETO EJECUTIVO N° 389	- 19 -
3.6	ACUERDO MINISTERIAL N° 222	- 19 -
CAPÍTULO III		- 21 -
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	- 21 -
4.1	ZONA DE ESTUDIO	- 21 -
4.2	INSUMOS SATELITALES, PROGRAMAS DE COMPUTADORA Y EQUIPOS DE CAMPO	- 22 -
4.3	CARTOGRAFÍA BASE	- 23 -
4.4	METODOLOGÍA	- 23 -
4.4.1	<i>Metodología aplicada en el diagnóstico de la zona de estudio.</i>	- 23 -
a)	<i>Uso y cobertura del suelo del cerro Mishquiyacu 2020.</i>	- 23 -
b)	<i>Estado de salud de la vegetación.</i>	- 27 -
c)	<i>Pendientes.</i>	- 28 -
d)	<i>Cuerpos de agua.</i>	- 28 -
e)	<i>Variables obtenidas a partir de información bibliográfica y cartografía base.</i>	- 29 -
4.4.2	<i>Análisis Multicriterio.</i>	- 30 -
4.4.3	<i>Procesamiento en SIG.</i>	- 39 -
4.4.4	<i>Propuesta de Restauración Ecológica.</i>	- 42 -
CAPÍTULO IV		- 50 -
5.	RESULTADOS	- 50 -
5.1	DIAGNÓSTICO DEL CERRO MISHQUIYACU	- 50 -
5.1.1	<i>Precipitaciones.</i>	- 50 -
5.1.2	<i>Temperatura.</i>	- 52 -
5.1.3	<i>Uso y cobertura del Suelo 2020.</i>	- 55 -
5.1.4	<i>Cuerpos de Agua.</i>	- 57 -
5.1.5	<i>Geología.</i>	- 59 -
5.1.6	<i>Geomorfología.</i>	- 61 -
5.1.7	<i>Pendientes.</i>	- 64 -
5.1.8	<i>Movimientos de Masas.</i>	- 66 -
5.1.9	<i>Áreas de bosque y vegetación protectora.</i>	- 69 -
5.1.10	<i>Estado de salud de la vegetación (Índice NDVI).</i>	- 70 -
5.1.11	<i>Comparación histórica de imágenes satelitales.</i>	- 73 -
5.2	RESULTADOS DEL MÉTODO AHP	- 75 -
5.3	ÁREAS PRIORITARIAS PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN EL CERRO MISHQUIYACU	- 76 -
5.4	PROPUESTA DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA	- 78 -
5.4.1	<i>Selección del ecosistema de referencia.</i>	- 78 -
5.4.2	<i>Estado actual del cerro Mishquiyacu.</i>	- 83 -
5.4.3	<i>Definir escalas y niveles de organización.</i>	- 91 -
5.4.4	<i>Caracterización de los disturbios.</i>	- 92 -
5.4.5	<i>Establecer las barreras a la restauración.</i>	- 93 -
5.4.6	<i>Zonificación de los sitios a restaurar.</i>	- 96 -
5.4.7	<i>Participación comunitaria.</i>	- 101 -
5.4.8	<i>Estrategias para la restauración ecológica.</i>	- 104 -
5.4.9	<i>Cronograma de actividades.</i>	- 119 -
6.	DISCUSIÓN	- 123 -
CAPÍTULO V		- 128 -

7. CONCLUSIONES	- 128 -
CAPÍTULO VI	- 130 -
8. RECOMENDACIONES	- 130 -
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	- 132 -
ANEXOS	- 143 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del cerro Mishquiyacu	- 22 -
Figura 2: Mapa de isoyetas	- 52 -
Figura 3: Mapa de isotermas	- 55 -
Figura 4: Mapa de uso y cobertura del suelo 2020	- 57 -
Figura 5: Mapa de cuerpos de agua	- 59 -
Figura 6: Mapa de geología	- 61 -
Figura 7: Mapa de geomorfología	- 64 -
Figura 8: Mapa de pendientes	- 66 -
Figura 9: Mapa de movimientos de masas	- 69 -
Figura 10: Áreas de bosque y vegetación protectora	- 70 -
Figura 11: Mapa del estado de salud de la vegetación	- 73 -
Figura 12: Imágenes satelitales de los años 2009, 2011 y 2020 respectivamente	- 74 -
Figura 13: Mapa de áreas prioritarias para restauración ecológica	- 77 -
Figura 14: Ubicación del ecosistema de referencia en el cerro Mishquiyacu	- 79 -
Figura 15: Ecosistema de referencia	- 79 -
Figura 16: Zonificación de las áreas con alta prioridad de restauración	- 97 -
Figura 17: Mapa de la zona 1	- 99 -
Figura 18: Mapa de la zona 2	- 100 -
Figura 19: Mapa de la zona 3	- 100 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los métodos MADM	- 11 -
Tabla 2: Cartografía base utilizada en el proyecto.....	- 23 -
Tabla 3: Características de la imagen satelital SuperView-1	- 24 -
Tabla 4: Valores de las longitudes de onda de la imagen satelital SuperView-1	- 25 -
Tabla 5: Leyenda temática de uso y cobertura del suelo.....	- 27 -
Tabla 6: Leyenda temática de pendientes.....	- 28 -
Tabla 7: Matriz de comparación por pares	- 35 -
Tabla 8: Escala de valores.....	- 35 -
Tabla 9: Matriz Normalizada	- 36 -
Tabla 10: Escala de priorización	- 39 -
Tabla 11: Clasificación de variables por valor nominal.....	- 40 -
Tabla 12: Niveles de clasificación del estado de conservación de las especies.....	- 44 -
Tabla 13: Parámetros para la caracterización de un disturbio.....	- 45 -
Tabla 14: Clasificación de las pendientes según la amenaza por movimientos de masas	- 47 -
Tabla 15: Consideraciones para cada zonificación.....	- 47 -
Tabla 16: Precipitación media mensual del cantón Paute	- 50 -
Tabla 17: Temperatura media mensual del cantón Paute	- 53 -
Tabla 18: Variación de temperatura con respecto a la altura	- 54 -
Tabla 19: Uso y cobertura del suelo 2020.....	- 56 -
Tabla 20: Cuerpos de agua del cerro Mishquiyacu	- 58 -
Tabla 21: Formaciones geológicas del cerro Mishquiyacu	- 60 -
Tabla 22: Geomorfología del cerro Mishquiyacu	- 63 -
Tabla 23: Pendientes del cerro Mishquiyacu.....	- 65 -
Tabla 24: Amenaza por movimientos de masas	- 67 -
Tabla 25: Distancia a AVBP.....	- 70 -
Tabla 26: Estado de salud de la vegetación.....	- 71 -
Tabla 27: Análisis histórico del cerro Mishquiyacu.....	- 74 -
Tabla 28: Matriz de ponderación por pares.....	- 76 -
Tabla 29: Ponderación por cada variable.....	- 76 -
Tabla 30: Áreas prioritarias para restauración ecológica.....	- 78 -
Tabla 31: Coordenadas geográficas del ecosistema de referencia.....	- 80 -
Tabla 32: Especies vegetales del cerro Mishquiyacu.....	- 82 -
Tabla 33: Caracterización de los disturbios en el cerro Mishquiyacu.....	- 93 -
Tabla 34: Barreras ecológicas a la restauración en el cerro Mishquiyacu.....	- 94 -
Tabla 35: Zonificación de los sitios a restaurar.....	- 96 -
Tabla 36: Coberturas que conforman cada zonificación.....	- 98 -
Tabla 37: Especies propuestas para la restauración ecológica.....	- 108 -
Tabla 38: Extracción de especies exóticas por años.....	- 116 -
Tabla 39: Cronograma de actividades	- 120 -

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1: Flujograma del análisis multicriterio.....	- 38 -
Gráfico 2: Flujograma del procedimiento realizado en SIG	- 41 -
Gráfico 3: Representación de cuadrantes realizados por área mínima en el ecosistema de referencia	- 44 -
Gráfico 4: Precipitación media mensual del cantón Paute	- 51 -
Gráfico 5: Temperatura media mensual del cantón Paute	- 53 -
Gráfico 6: Variación de temperatura con respecto a la altura.....	- 54 -
Gráfico 7: Uso y cobertura del suelo 2020.....	- 56 -
Gráfico 8: Formaciones geológicas del cerro Mishquiyacu	- 60 -
Gráfico 9: Geomorfología del cerro Mishquiyacu.....	- 63 -
Gráfico 10: Pendientes del cerro Mishquiyacu.....	- 65 -
Gráfico 11: Amenaza por movimientos de masas	- 68 -
Gráfico 12: Estado de salud de la vegetación.....	- 72 -
Gráfico 13: Zonificación de los sitios a restaurar.....	- 96 -
Gráfico 14: Coberturas que conforman cada zonificación.....	- 99 -
Gráfico 15: Modelo recíproco de restauración.....	- 104 -
Gráfico 16: Diseño de plantación con el método tresbolillo.....	- 111 -
Gráfico 17: Posible sucesión del bosque.....	- 112 -
Gráfico 18: Percheros para aves en los pastizales.....	- 113 -
Gráfico 19: Instalación de mallas o mantas orgánicas.....	- 115 -

LISTA DE IMÁGENES

<i>Imagen 1: Ecosistema de referencia en el cerro Mishqiyacu</i>	- 81 -
<i>Imagen 2: Ecosistema de referencia</i>	- 81 -
<i>Imagen 3: Áreas erosionadas en zonas de ladera</i>	- 84 -
<i>Imagen 4: Cárcavas en proceso de formación</i>	- 85 -
<i>Imagen 5: Ganadería en el cerro Mishqiyacu</i>	- 86 -
<i>Imagen 6: Suelos en proceso de degradación</i>	- 87 -
<i>Imagen 7: Expansión de la frontera agrícola</i>	- 88 -
<i>Imagen 8: Infraestructuras antropogénicas</i>	- 89 -
<i>Imagen 9: Especies introducidas</i>	- 90 -
<i>Imagen 10: Movimientos de masas</i>	- 91 -

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Factura de compra de la imagen satelital Superview-1.....	- 143 -
Anexo 2: Matriz normalizada.....	- 143 -
Anexo 3: Relación de consistencia.....	- 144 -
Anexo 4: Obtención de información mediante comunicación personal con los habitantes de un sector aledaño al cerro Mishquiyacu.....	- 144 -
Anexo 5: Ecosistema de referencia en el cerro Mishquiyacu.....	- 145 -
Anexo 6: Identificación de especies vegetales mediante visualización.....	- 145 -
Anexo 7: Materiales utilizados para el inventario de especies.....	- 146 -
Anexo 8: Erosión del suelo como producto de un sobrepastoreo.....	- 146 -
Anexo 9: Creación del cuadrante por área mínima.....	- 147 -
Anexo 10: Recorrido por el cerro Mishquiyacu.....	- 148 -
Anexo 11: Ecosistemas del cantón Paute.....	- 148 -
Anexo 12: Erosión en zonas de ladera.....	- 149 -
Anexo 13: Zona 1 de la Josefina.....	- 150 -
Anexo 14: Sesión de trabajo con técnicos del MAAE.....	- 150 -
Anexo 15: Reunión con el grupo de expertos compuesto por técnicos del MAAE y docentes de la UCACUE.....	- 151 -
Anexo 16: Especies vegetales del cerro Mishquiyacu.....	- 152 -

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La destrucción y degradación de la naturaleza a nivel mundial ha sido causada por todas las actividades humanas que a lo largo de la historia han provocado modificaciones en la mayoría de los ecosistemas por razones como: un acelerado crecimiento de la población, pobreza, actividades industriales poco reguladas y controladas, economía no circular, introducción de especies exóticas, cambio de uso de suelo, vertidos de aguas contaminadas en cursos de agua, deforestación, entre otros. Por estos motivos, la restauración ecológica se convierte en una actividad muy necesaria para restablecer las funciones y servicios de los ecosistemas que se han perdido (Aguirre y Torres, 2014).

A nivel latinoamericano, existen varias iniciativas que promulgan el desarrollo de proyectos de restauración ecológica en zonas afectadas, los principales tratados internacionales son las metas Aichi del convenio sobre la diversidad biológica, el reto de Bonn y la iniciativa 20x20, a pesar de ello, estos no detallan como se van a hacer realidad esta clase de proyectos, sino que pecan de prometer mucho, pero sin lograr nada. Por otro lado, los países en los cuales se tiene conocimiento de que cuentan con un plan básico nacional de restauración son Brasil, Colombia, Ecuador y Guatemala. Destacando el establecimiento de objetivos hacia la reforestación, recuperación de los servicios ecosistémicos, regeneración a escala de paisaje y proyectándolos para obtener resultados a mediano y largo plazo (Méndez, Martínez, Cecconci y Guariguata, 2017).

En Ecuador, las primeras referencias tangibles a la restauración ecológica, son de los años ochenta, pues en ese entonces lo que se buscaba era regenerar y reparar los daños causados por la introducción de especies exóticas en las islas Galápagos, ya que estas cobraron vital importancia, gracias al reconocimiento nacional e internacional como Reserva de la Biosfera y por ende gran parte de la política pública se orientó hacia ese objetivo (González, Pambi, Uyaguari y Zhiñin, 2017).

En el país poco a poco se han ido llevando a cabo proyectos de restauración ecológica, principalmente en la región de los Andes, tales como: la formación de un

biocorredor en un mosaico de páramo en la reserva ecológica el Ángel; plan de manejo para la restauración de dos humedales del páramo de Sachahuayco en el cantón Mocha, provincia de Tungurahua; proyecto de restauración del capital natural de un área degradada al noroccidente de la provincia de Pichincha; plan de restauración hidráulica y ecológica de un tramo del río San Pedro, en la cuenca del río Guayllabamba; plan de restauración y rehabilitación de un paisaje de bosque nublado en el bosque protector Mindo-Nambillo; proyecto de restauración de los páramos de Jatunhuaycu; plan de restauración ecológica del bosque de ribera en la cuenca alta del río Carihuaycu; plan de restauración del capital natural del bosque protector El Ingenio-Santa Rosa, en la provincia de Loja, entre otros (Aguilera, 2018).

Muchos planes, programas o proyectos como estos, al no tener apoyo e impulso suficiente por parte del Estado ecuatoriano, no han logrado ser muy sobresalientes o tener el desarrollo adecuado, ya que han quedado relegados a segundo plano. Estos proyectos a nivel nacional se han realizado por diferentes motivos, como: políticos, enfoques biológicos, pedagógicos, idealistas y pragmáticos. Estas maneras de proponer y realizar proyectos de restauración, tienen como impulsos principales los de restaurar por preocupación sobre la salud del ambiente natural, restablecer servicios ecosistémicos, como política de estado para preservar los recursos naturales, de manera ideológica, experimentación por parte de la academia y para comprender el funcionamiento de los ecosistemas (González et al., 2017).

En el cerro Mishquiyacu, la degradación del ecosistema es grave debido a actividades antrópicas como el pastoreo intensivo y la agricultura en pendientes pronunciadas que han provocado un deterioro de su calidad ambiental. Además, de procesos naturales como movimientos de masas, que representan un riesgo para los habitantes de las zonas aledañas, empeorando su situación de degradación. Por tal motivo, el gobierno central a través del Ministerio del Ambiente declaró zona de utilidad pública a la zona 1 de la Josefina (ver Anexo 13), efectuando una expropiación de estos terrenos con el fin de precautelar la seguridad (Acuerdo Ministerial No. 222, 2010).

De tal manera, para esta zona es necesario desarrollar una propuesta de restauración ecológica. La misma que es una actividad llevada a cabo de manera premeditada en áreas que lo necesiten o en las cuales la sucesión ecológica esté parada, con el fin de comenzar el proceso de regeneración. Rigiéndose por razonamientos como el promover la biodiversidad, recuperar del suelo, restablecer servicios ecosistémicos, proteger fuentes de agua, reunificar parches de bosques, entre otros (González et al., 2017). Esta propuesta conjuga la utilización de un sistema de información geográfica (SIG), y que, en combinación con una metodología de análisis multicriterio, servirá como herramienta para encontrar los sitios en los que se deberá intervenir con mayor o menor prioridad para restaurar.

Esta metodología de análisis multicriterio ayuda a alcanzar los objetivos propuestos en cualquier proyecto pues facilita la toma de decisiones, ya que, para llegar a un resultado conveniente, considera un número variable de criterios naturales y antrópicos, dándoles una ponderación o nivel de importancia. Mientras tanto el SIG permite cargar las ponderaciones obtenidas del análisis multicriterio, teniendo como resultado el mapa de áreas prioritarias para restaurar, sobre el cual se establecerá la propuesta de restauración ecológica (Arias, 2018).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general.

Elaborar una propuesta de restauración ecológica en el cerro Mishqiyacu mediante la utilización de un método de análisis multicriterio, para contar con un instrumento de planificación del territorio, que contribuya a mejorar las condiciones ecosistémicas de la zona de estudio.

1.1.2 Objetivos específicos.

- Efectuar un diagnóstico de la zona a nivel de cartografía histórica y temática, con el fin de conocer la prospectiva de la zona y los problemas territoriales a su alrededor.
- Desarrollar un análisis que combine técnicas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para priorizar áreas de intervención de acuerdo a los ecosistemas degradados.

- Elaborar la propuesta de restauración enfocada en las condiciones específicas del sitio de estudio basado en una acertada zonificación.

1.2 Justificación

El origen de las áreas degradadas o en proceso, puede ser debido a causas provocadas por la naturaleza, como lo son las fuertes precipitaciones, deslizamientos de tierras, erupciones volcánicas, terremotos, sequías e inundaciones y por otra parte, a las causas provocadas por la humanidad, como tal es el caso de las actividades agrícolas e industriales, incendios antrópicos, construcción de infraestructuras, actividades petroleras y mineras (Morgan y Rickon, 1995). Con respecto a lo anterior es importante implementar programas de restauración y recuperación en las zonas afectadas por acciones antrópicas y naturales mediante métodos económicos y que al mismo tiempo sean eficientes. Replicando de esta manera el proceso de sucesión natural y teniendo como finalidad la de recuperar la estructura y función del ecosistema (Rondon y Vidal, 2005).

En consecuencia, la ganadería y agricultura que se han desarrollado en el cerro Mishquiyacu desde muchos años atrás ha sido la principal causa de su deterioro ambiental. Además, la litología del sector es propensa a que se ocasionen movimientos de masas, acelerados por las actividades productivas antes mencionadas que, con el tiempo, posiblemente podrían originar un derrumbe muy parecido al del cerro Tamuga.

El macro deslizamiento del cerro Tamuga sucedió el 23 de marzo de 1993, en donde 300 millones de metros cúbicos de tierra y roca formaron un dique, impidiendo que el agua del río Cuenca siga su curso, el mismo que tenía un caudal de 120 m³/s. Este acontecimiento represó más de 200 millones de metros cúbicos de agua, ocasionando la pérdida de casas, cultivos y la destrucción de infraestructuras como vías y puentes. Todo lo acontecido repercutió en la economía, pues se tiene datos de que el perjuicio superó los 150 millones de dólares. El agua avanzó hasta el sector de Chaullabamba en el cantón Cuenca, provincia del Azuay y hasta el sector de Charasol, en la provincia del Cañar (Barreto, Torres y Tenezaca, 2008).

Por lo tanto, el Estado a través del MAAE, al tener conocimiento de la amenaza por movimientos de masas que existe en toda la zona 1 de la Josefina y por las actividades antrópicas que se realizaban en este sector, poniendo en riesgo su estabilidad, declaro área de utilidad pública, efectuando expropiaciones a todos los ciudadanos que tenían propiedades sobre esta zona y también a las concesiones mineras de áridos y pétreos que allí realizaban trabajos. Esto con el fin de precautelar la seguridad de los habitantes. Por tal motivo, es importante implementar un plan integral de restauración ecológica sobre estas áreas, interviniendo las canteras abandonadas y sectores degradados por la agricultura y ganadería. De tal forma, en cierta medida se podrá disminuir la probabilidad de deslizamientos.

Por esta razón se busca proponer actividades de restauración en el cerro Mishquiyacu con especies vegetales nativas que aporten a la protección del suelo, agua, taludes, flora, fauna y que finalmente contribuyan a la regeneración ambiental. En este sentido la metodología multicriterio y los sistemas de información geográfica son muy útiles para ayudar en la toma de decisiones, involucrando varias variables y consiguiendo de esta manera una alternativa económica para establecer áreas que necesiten de intervención restaurativa inmediata. Teniendo un amplio abanico de replicación por parte de instituciones públicas que busquen restaurar áreas extensas aplicando todos los criterios técnicos del caso.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO

2.1 Ecosistema

Un ecosistema está constituido por una variedad de componentes bióticos y abióticos que interactúan entre sí, que a través del tiempo han desarrollado adaptaciones locales mutuas. Está claro que según el lugar y de un tiempo a otro, varían las interacciones y sus circunstancias específicas que hacen que cada ecosistema sea único (Peters et al. 2005).

La Society for Ecological Restoration (2004) menciona que “un ecosistema consta de la biota (flora, fauna y microorganismos) que existe en una zona determinada, el ambiente que la sostiene y las interacciones entre éstos” (p.6).

Por otro lado, se propone que “un ecosistema básicamente es un área de cualquier tamaño, con una estrecha relación o asociación de sus componentes físicos (abióticos) y biológicos (bióticos) y organizado de tal manera que, si cambia un componente, o subsistema, cambian los otros componentes y en consecuencia el funcionamiento de todo el ecosistema” (Vargas, 2007, p.17).

2.1.1 Degradación de ecosistemas.

Los ecosistemas de acuerdo a su funcionamiento, composición y estructura intrínseca, son capaces de resistir modestas variaciones originadas por alteraciones naturales o antropogénicas. Por lo tanto, estas pequeñas perturbaciones pueden ser restauradas de forma independiente y eficiente por cada ecosistema, reorientándose hacia un rumbo parecido al del anterior al disturbio (Peters et al. 2005).

Lo antes mencionado se conoce como resiliencia permitiendo a los ecosistemas una cierta estabilidad. Sin embargo, si los cambios son grandes en cuanto al tamaño, intensidad y repetición de las alteraciones, que muchas veces resultan poco reversibles, se destruye la capacidad de recuperación del ecosistema por sí mismo (Peters et al. 2005).

2.2 Actividades degradativas

2.2.1 Ganadería.

Es una actividad que se realiza con el fin de criar animales (vacas, cabras, etc.), para posteriormente obtener beneficios económicos de sus productos como la leche y carne. Realizada en áreas de gran extensión, que tienen la condición, de ser ecosistemas naturales alterados por el ser humano para realizar pastoreo, dedicado a la alimentación del vacuno, que con el paso del tiempo terminan degradándose por el sobrepastoreo (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 2015).

2.2.2 Agricultura.

La agricultura tiene el objetivo de realizar el cultivo de la tierra para la producción de alimentos, mediante un conjunto de actividades técnicas y económicas concernientes con el tratamiento del suelo (Mishra et al. 2016). Durante la cadena productiva, suceden procesos responsables de afectar a los ecosistemas y, por ende, al desarrollo y salud de los humanos. Entre los perjuicios contra la naturaleza están: utilización inadecuada de plaguicidas y fertilizantes, compactación del suelo por utilizar maquinaria pesada, malas prácticas de drenaje o de riego que pueden ocasionar impactos ambientales (FAO y OMS, 2005).

2.2.3 Minería de áridos y pétreos.

Los áridos son materiales granulados obtenidos del desgaste y disgregación de las rocas caracterizados por su fortaleza mecánica, estabilidad química y tamaño pequeño; en cambio, los materiales pétreos, son agregados minerales estables y duros contra factores atmosféricos, derivados de macizos rocosos, generalmente magmáticos (Ministerio de Recursos No Renovables, 2012)

El explotar de manera antitécnica e intensiva los materiales áridos y pétreos, provoca cambios irreversibles en la morfología. Esto ocasiona una concavidad que perturba el paisaje, causando riesgos de contaminación para los cuerpos hídricos a su alrededor. Estos problemas se pueden controlar con un adecuado proyecto de extracción y planes de restauración (M. García, 2018).

2.3 Restauración ecológica

La restauración ecológica es un proceso en el cual se busca rehabilitar un ecosistema degradado, en relación con su sostenibilidad, salud e integridad. Es una actividad intencional que puede empezar su recuperación cuando el ecosistema ha perdido sus servicios ecosistémicos, ha sido transformado, dañado o devastado en su totalidad como consecuencia de acciones antropogénicas (Society for Ecological Restoration (SER) International, 2004).

Existen varias formas de alcanzar la restauración ecosistémica, podemos mencionar las principales, entre las que están el saneamiento o reclamación, reemplazamiento vegetal, revegetación y la rehabilitación. A continuación, se presentan sus definiciones (Barrientos y Monge, 2010):

- a) Saneamiento: Su meta es recuperar la producción de biomasa en una zona destruida. La biodiversidad propia del sitio no se logra restablecer y la mayor parte de los servicios ambientales, entre los que están de protección, se restablecen.
- b) Rehabilitación: Actividades que se enfocan principalmente en restablecer la producción de biomasa. Solo algunas especies endémicas de animales y vegetales se reintroducen. El ecosistema en recuperación, por motivos económicos o ecológicos, podrá tener especies exóticas que no se encontraban en el lugar.
- c) Reemplazo vegetal: En este método no se toma en cuenta el estado del ecosistema antecesor, por otro lado, estimula el desarrollo de un nuevo ecosistema diferente al natural.
- d) Revegetación: Es una táctica que se logra cuando se puede reproducir en campo procesos como la producción de biomasa, regeneración del suelo, sucesión vegetal, entre otros. Se utilizan especies nativas en donde se busca que el ecosistema se asemeje a su estado natural.

2.3.1 Propuesta de restauración ecológica.

Un plan o propuesta de restauración ecológica se debe construir a partir de metas y metodologías claramente definidas, las cuales se puedan cumplir. Para lo

cual, se detallará de una manera clara y precisa las actividades que deberán tomarse para lograr realizar las fases implicadas en la propuesta, siendo las principales: planificación, preparación, implementación, monitoreo y evaluación. Se debe organizar de forma adecuada cada etapa del proyecto, pues si se lo planea erróneamente, se perderán los recursos invertidos (Fernández et al., 2010).

2.3.2 Etapas de una propuesta de restauración ecológica.

Al momento de desarrollar una propuesta o plan de restauración ecológica se debe tener en cuenta que, las acciones a realizar, dependerán de variables naturales como sociales (Vargas, Diaz, Reyes y Gomez, 2012). Esta propuesta contendrá un marco teórico de planeación, definiendo la imagen objetivo que se desea obtener e identificando las potenciales perturbaciones del ecosistema. Se justificará el porqué del proyecto, los objetivos y la localización de la restauración (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2015). Aunque no se ha desarrollado una sola fórmula para rehabilitar un ecosistema, ya que cada lugar tiene sus propias condiciones, hay varias consideraciones generales (Vargas et al., 2012). A continuación, se presentan algunos pasos importantes a tomar en cuenta para generar un plan básico de restauración (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2015):

1. Plan de trabajo y cronograma de actividades: Es necesario generar un plan de trabajo y un cronograma de actividades, a manera de marco lógico, que facilite el diseño, ejecución y evaluación del proyecto de restauración. En el cronograma se incluirá la duración que tendrá cada actividad y los resultados que se obtendrán. En lo que respecta a la restauración ecológica pasiva o espontánea se detallara las futuras actividades de monitoreo.
2. Identificación de la localización y los límites del proyecto: Se debe realizar la delimitación cartográfica y definición de la información base del área de estudio mediante un sistema de información geográfico. Esto permitirá visualizar los probables escenarios por los cuales se encaminará la restauración.
3. Selección del tipo de ecosistema que será restaurado: Se detallará el ecosistema originario que fue destruido por circunstancias antropogénicas o

- naturales. Se realizará una descripción haciendo realce en el ecosistema (arbustivo, herbazal, forestal, etc.), especies estratégicas afectadas, características geomorfologías, servicios ecosistémicos perdidos y condiciones abióticas (enfaticando las propiedades del suelo).
4. Descripción de los posibles factores de disturbio del proyecto: Se realizará una descripción de los elementos que han deteriorado el ecosistema a través del tiempo. Tanto en la intensidad y recurrencia de la perturbación, describiendo de manera detallada los mismos.
 5. Identificación de actores locales: Se deberá tener una idea clara de las implicaciones sociales del proyecto. Por lo tanto, se identificará los actores locales, organizaciones locales (públicas o privadas), comunidades indígenas, propietarios de los terrenos, entre otros.
 6. Descripción de las necesidades reales de restauración del sitio: Consiste en analizar lo que se desea realizar a futuro en el lugar para enfocar los trabajos de restauración hacia ese objetivo. Para lo cual, se examinará los datos históricos de las perturbaciones que ha sufrido el sitio, y las estrategias de restauración que brindaran los beneficios ambientales al sector.
 7. Definición de la meta de restauración: Lo que se busca es establecer las condiciones ecosistémicas que se desea alcanzar con la propuesta de restauración. Definiendo los conceptos básicos que se emplearán y el método por el cual se va a realizar el proyecto. La meta también definirá las razones por las cuales se eligió la restauración asistida o la espontánea. Además, la meta puede indicar si la restauración está enfocada en cuanto a ecosistema, condiciones geomorfológicas o edáficas, tomando en consideración sus niveles de organización y diferentes escalas. Así como los aspectos de estructura, función y composición.
 8. Diagnóstico socio ambiental: Establecer una línea base del área de estudio, es muy importante, tanto desde el punto de vista social (actividades económicas de la población en la zona) como ambiental (uso de suelo actual) que ayude a escoger una estrategia adecuada para la restauración.

9. Método de restauración: Una vez definida la meta y el ecosistema de referencia, se seleccionará la metodología para la estrategia escogida y las especies vegetales que se van a utilizar en la restauración. De igual manera, se determinarán las tácticas para actividades de recuperación del suelo, traslado de plantas, la distribución y difusión de las especies escogidas, adquisición de las semillas en viveros locales, etc.
10. Materiales y equipos: Se procederá a realizar una descripción de todos los materiales, maquinarias, personal requerido y equipos necesarios para lograr la meta de restauración.
11. Identificación de posibles permisos o coyunturas legales: Si la propuesta de restauración requiere algún tipo de permiso se lo deberá describir, como consulta previa, que debe gestionarse y como se solucionará en un determinado plazo. Evitando el retraso en los cronogramas acordados.
12. Costos: Se incluirá los valores unitarios que costará cada acción o estrategia que se ejecute. Además, se presentará una tabla consolidada de los precios de la propuesta de restauración.
13. Programa de monitoreo: El programa de monitoreo a las metas del proyecto deberá plantear indicadores claros y de fácil medición, apropiados a la escala y tipo de intervención para poder realizar el mismo de manera efectiva.

2.3.3 Ecosistema de referencia.

Un ecosistema de referencia se puede definir como el objetivo al cual los proyectos de restauración ecológica desean alcanzar. Sirve también como un modelo para evaluar y comparar el área degradada en proceso de regeneración. Por lo general, lo que se desea lograr es que el ecosistema en restauración siga una trayectoria en la que sus características específicas (componentes bióticos y abióticos) se parezcan, no total, pero sí en su mayoría, al de referencia (Society for Ecological Restoration (SER) International, 2004).

Al momento de describir un ecosistema de referencia se pueden utilizar mapas del área antes de la perturbación, imágenes satelitales históricas y actuales, fotografías de la vegetación antes del disturbio, listado de especies del sitio, descripciones

orales de personas que hubiesen conocido el lugar antes de la degradación, parches de bosque que aun contengan las características físicas y biológicas, información de museos, estudios botánicos, entre otros (Willis y Birks, 2006).

2.3.4 Áreas prioritarias para restaurar.

Las áreas prioritarias son representaciones espaciales del territorio que nos ayudan en la identificación de zonas potenciales para la restauración y preservación de los ecosistemas, en donde existe una degradación o destrucción debido a eventos naturales o acciones antrópicas. Para determinar dichas áreas se pueden combinar varios factores entre los cuales están los físicos, morfométricos, ambientales, biológicos, sociales, culturales y económicos (Chávez, González y Hernández de la Rosa, 2018).

La priorización es una forma eficiente de destinar los recursos disponibles para enfocarlos en las formaciones vegetales que han sufrido de perturbaciones, las cuales han comprometido su equilibrio, y que necesitan de acciones inmediatas de restauración (Fernández et al., 2010). Al momento de identificar estas áreas prioritarias se deberá de tomar en cuenta los objetivos del proyecto, los cuales pueden variar, dependiendo de la zona en la cual se ejecuten y lo que se desee alcanzar (Geneletti, Orsi, Lanni y Newton, 2011).

La elección de áreas prioritarias para restaurar necesita de metodologías con la capacidad de incluir diferentes tipos de criterios, y al mismo tiempo, faciliten la toma de decisiones. Se pueden considerar varias variables para priorizar las áreas como por ejemplo el uso de suelo, movimientos de masas, pendientes, precipitaciones, riqueza de especies, rareza del hábitat, cercanía a cuerpos de agua, niveles de degradación, entre otros (Geneletti et al., 2011). Para seleccionar estas zonas, se debe tener en cuenta que los programas de restauración y conservación también se enfocan en las funciones ecológicas y la diversidad biológica que representa un ecosistema (Bustamante, Albán y Argüello, 2011).

2.4 Análisis multicriterio

2.4.1 Métodos de análisis multicriterio.

El principal objetivo de los métodos de toma de decisión multicriterio (*Multi-Criteria Decision Making*, MCDM), es facilitar la toma de decisiones en un contexto

de diferentes objetivos en conflicto y en un ambiente incierto basados en la valoración y consideración de diversas variables (Aznar y Guijarro, 2020).

La posibilidad de encontrar una solución óptima no siempre se considera en los métodos de decisión multicriterio. De acuerdo con el criterio del agente decisor y de las metas planteadas, el conflicto central del método multicriterio radica en seleccionar las mejores alternativas; aceptar alternativas que parecen buenas y rechazar aquellas que parecen malas, y generar un orden de la mejor a la peor de las alternativas consideradas (Avila, 2000).

Se encuentran dos grupos principales dentro de los MCDM, dividiéndose en métodos de toma de decisión multi-atributo (*Multi-attribute decision-making*, MADM) y métodos de toma de decisión multi-objetivo (*Multi-objective decision-making*, MODM). Para resolver problemas discretos se utilizan los métodos MADM, en donde las opciones están establecidas y los expertos dan una valoración “a priori” a cada criterio indicando la importancia de los mismos. En cambio, para resolver problemas continuos se utiliza los métodos MODM, en cuyo caso, las opciones no están establecidas, involucrando a los expertos “a posteriori”, debido a que son un conjunto de soluciones igualmente buenas bajo una serie de restricciones (Hwang y Yoon, 1981).

Para clasificar a los métodos MADM, se toma en cuenta la propuesta por (De Brito y Evers, 2016), en la cual, se divide en cinco grupos principales: métodos de puntuación directa, métodos basados en la distancia, métodos de comparación por pares, métodos de superación y métodos basados en funciones de utilidad o valor (ver Tabla 1). Dentro de los métodos de comparación por pares, tenemos el método de Proceso Analítico Jerárquico (AHP), que para intereses de este proyecto será utilizado con el fin de ayudar en la toma de decisiones al comparar las diferentes variables ambientales.

Tabla 1: Clasificación de los métodos MADM

Grupo MADM	Método MADM
Métodos de puntuación directa	<i>Simple additive weighting (SAW)</i>
	<i>Complex proportional assessment (COPRAS)</i>
Métodos basados en la distancia	<i>Goal programming (GP)</i>
	<i>Compromise programming (CP)</i>
	<i>Technique for order of preference by similarity to ideal solution (TOPSIS)</i>
	<i>Multicriteria optimization and compromise solution (VIKOR)</i>
Métodos de comparación por pares	<i>Analytic hierarchy process (AHP)</i>
	<i>Analytic network process (ANP)</i>
	<i>Measuring attractiveness by a categorical based evaluation technique (MACBETH)</i>
Métodos de superación	<i>Preference ranking organization method for enrichment of evaluations (PROMETHEE)</i>
	<i>Elimination and choice expressing reality (ELECTRE)</i>
Métodos basados en funciones de utilidad o valor	<i>Multi-attribute utility theory (MAUT)</i>
	<i>Multi-attribute value theory (MAVT)</i>
	Modelo integrado de valor para evaluaciones sostenibles (MIVES)

Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (Penadés, García y Yepes, 2016).

2.4.2 Método de Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

Es un método creado por el matemático Thomas Saaty, que tiene como objetivo permitir la estructuración de un modelo jerarquizado compuesto por una meta, criterios y alternativas. La comparación por pares se realiza cuando el modelo jerarquizado ha sido formado, dando valores numéricos por parte de personas expertas en el tema a cada uno de sus criterios. Este proceso analítico logra medir como cada componente de la jerarquía contribuye al escalón seguidamente superior del cual se separa. Para comparar lo antes señalado se utiliza las llamadas escalas de razón en términos de importancia, preferencia o probabilidad, sobre una escala numérica que va desde el valor de 1 hasta el 9. Este proceso da como resultado la obtención de las ponderaciones para cada criterio o variable, realizando después el análisis de sensibilidad (Avila, 2000).

2.5 Teledetección

La teledetección es un conjunto de técnicas empleadas en conseguir por medio de un sensor, mediciones y observaciones a una distancia considerable, permitiendo capturar datos geospaciales sobre los recursos naturales, fenómenos geológicos, características físicas de los objetos, infraestructuras y actividades humanas (Soria y Matar de Saquis, 2016).

Los sistemas de teledetección son capaces de medir la radiación electromagnética que es emitida o reflejada por la superficie terrestre, en donde con la finalidad de caracterizar el paisaje se utilizan mediciones del espectro electromagnético, compuesto por un conjunto de longitudes de onda las cuales están conformadas por ondas de radio, microondas, espectro infrarrojo, luz visible, luz ultravioleta, rayos gamma y rayos X (Rodríguez y Arredondo, 2005).

Son de dos clases pasiva y activa, en donde la primera capta la radiación reflejada por un objeto debido al efecto del sol y la segunda es generada por medio de un sensor que produce radiación enfocada en un objeto y reflejada por el mismo (Sanchez, 2012). Todos estos procesos generan información de gran importancia como por ejemplo imágenes satelitales y de radar que luego serán procesadas por los SIG (Rodríguez y Arredondo, 2005).

2.5.1 Índice NDVI.

El índice normalizado diferencial de vegetación (*Normalized Difference Vegetation Index*, NDVI) se lo obtiene al momento de procesar las imágenes satelitales mediante herramientas SIG. El principio fundamental de este índice es el de relacionar la actividad fotosintética y la estructura foliar de las plantas para determinar su vigorosidad o salud. Adquiriendo valores entre -1 y 1 en función de la energía reflejada o absorbida del espectro electromagnético por las plantas. Para lo cual, se basa en las longitudes de onda reflejadas por las especies vegetales en donde el cálculo se efectúa mediante la diferencia de las bandas espectrales del infrarrojo cercano (NIR) y el rojo visible (RED) (Díaz, 2015).

Un factor que tiene incidencia en la relación entre el NIR y RED es el proceso de fotosíntesis, ya que éste se desarrolla en los cloroplastos de las células vegetales. Estos contienen el pigmento de la clorofila, mismo que es el encargado

de absorber la luz roja visible (Chen, 2018). Cuando la planta está en un buen estado de salud absorbe más luz roja visible y refleja gran parte de la luz infrarroja pues posee una gran cantidad de clorofila, mientras que si la planta se encuentra enferma la cantidad de clorofila será menor y por consiguiente absorberá menos luz roja y reflejara menor luz infrarroja (Toribio, 2019).

2.5.2 Imagen satelital.

Se denomina imagen satelital al fruto de atrapar la radiación electromagnética reflejada o despedida por la superficie terrestre por medio de un sensor montado en un satélite artificial. La altitud y el tipo de tecnología empleada están directamente relacionadas con la calidad de la fotografía tomada. La imagen siempre va a depender en gran medida de que tan avanzado sea el sensor utilizado y que condiciones climáticas estén presentes cuando se realice la captura. Al cubrir una extensa porción de territorio por lo general los tiempos para procesar estas imágenes son amplios y también depende de las características que tengan como la resolución, elevación, colores, entre otras (Sanchez, 2012).

2.5.3 Zonificación.

El objetivo de la zonificación es el de intersecar capas de información tanto físicas (precipitación, pendientes, movimiento de masas), biológicas (fauna, cobertura vegetal), sociales (crecimiento poblacional) y económicas (actividades económicas) de un mismo territorio para identificar zonas con rasgos similares y a su vez dar pautas para su respectivo uso (Montenegro y Bermúdez, 2005).

El zonificar áreas es muy importante debido a que se puede partir de ahí para formular planes de ordenamiento territorial, los cuales sirven como herramienta para mejorar la toma de decisiones y priorizar zonas en las cuales se pueden tomar acciones de manejo como por ejemplo la restauración ecológica. En relación con eso, la meta de la zonificación es emplear juicios que permitan identificar áreas homogéneas con un alto grado de fragilidad ante elementos o actividades humanas, que logren provocar o empeorar el estado de preservación del medio ambiente (Cardona, Castellano, Pizón, Mora y Vargas, 2011).

2.6 Sistema de información geográfica

Un sistema de información geográfica se define como un conjunto de procesos que permiten dar una revisión, almacenamiento, gestión y edición a datos geoespaciales. Por medio de este análisis de datos se puede generar modelos complejos o sencillos, dependiendo de las necesidades de cada proyecto, para finalmente elaborar mapas, gráficos, informes, entre otros (Oyala, 2014).

Los SIG han demostrado que son capaces de ser compatibles con ramas de la ciencia afines a la gestión de recursos naturales, proyectos ambientales, análisis de la dinámica y estructura de poblaciones, restauración ecológica, toma de decisiones, ordenamiento territorial, entre otros (Vázquez, 2017).

2.6.1 ArcGIS.

ArcGIS es un programa de computadora capaz de examinar, constituir, gestionar y compartir información cartográfica compleja. Este sistema de información geográfica se lo maneja a nivel mundial con el fin de generar conocimiento geográfico, cuyas aplicaciones se las puede utilizar en el ámbito de gobierno, científico, educación, telecomunicaciones y empresarial (ESRI, 2020a), para fines de este proyecto se utilizó la versión ArcGIS 10.5.

2.6.2 ENVI.

ENVI (*Environment for Visualizing Images*) es un programa de computadora diseñado para analizar imágenes geoespaciales mediante un conjunto de herramientas desarrolladas para realizar tareas tales como la corrección geométrica, análisis de terreno, análisis espectral, análisis de radar y gestión de información SIG, entre otros (Aguilar, 2015).

Este sistema tiene una interfaz robusta de componentes automatizados de trabajo, que permiten tener una gran compatibilidad con los procesos de trabajo de ArcGIS. ENVI es capaz de procesar imágenes adquiridas de distintos tipos de sensores ya sean multiespectrales, hiperespectrales, radar, térmicos, pancromáticos y lidar; movilizadas en satélites, aviones o drones (ESRI, 2020b).

3. MARCO LEGAL

3.1 Constitución de la República del Ecuador

La constitución de la república del Ecuador establece en el artículo 14 que se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, en donde uno de los principales intereses del Estado es el de conservar y restaurar el ambiente natural. Estos lineamientos son los mismos que se buscan proponer y obtener con la elaboración de este proyecto de tesis. A la par, en esta carta magna, en el artículo 71 se brinda derechos a la naturaleza pues en esta se reproduce y realiza la vida. Por lo tanto, como se menciona en el artículo 72, la naturaleza tiene derecho a la restauración, misma que en casos de impactos ambientales graves o permanentes, el Estado establecerá mecanismos eficaces para alcanzar la restauración y adoptará medidas para eliminar o mitigar las consecuencias nocivas (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Además, se indica en el artículo 389, que el Estado protegerá a personas, colectividades y a la naturaleza contra desastres de origen natural o antrópico por medio de actividades que fomenten la prevención, mitigación, recuperación y mejoramiento de los factores ambientales, económicos y sociales. Esto se evidencia con la intervención del Ministerio del Ambiente y Agua, a través del PRAS sobre el cerro Mishquiyacu, ya que el objetivo en esta área es su conservación, al mismo tiempo que se pretende disminuir la probabilidad de un eventual movimiento de masas (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

También se aplicarán medidas restrictivas contra actividades que conduzcan a la extinción de especies y destrucción o alteración de ecosistemas. Para lo cual el Estado actuara de manera inmediata para garantizar la salud y restauración de los ecosistemas. De tal manera, se conservará, recuperará y manejará el suelo, recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos; regulando toda actividad que afecte la calidad del agua, aire y suelo. Todo lo mencionado anteriormente se encuentra respaldado en los artículos 73, 276, 397, 409 y 411 (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

3.2 Código Orgánico del Ambiente

El Código Orgánico del Ambiente del Ecuador (COA) establece en su artículo 89, que el patrimonio forestal nacional estará conformado por formas de vegetación no arbórea; bosques y vegetación protectores; bosques intervenidos y secundarios; y tierras de restauración ecológica o protección. Por lo cual el cerro Mishquiyacu es un área que pertenece al patrimonio forestal pues está destinado como zona de protección y restauración, en donde existen bosques intervenidos y secundarios. Por tanto, en el artículo 90 se expresa que todas estas áreas, como prioridad nacional e interés público, deberán ser manejadas, conservadas, gestionadas y administradas de manera sostenible (Código Orgánico del Ambiente, 2018).

En el artículo 106 se establece que dentro de los planes de conservación del bosque natural se priorizará la entrega de incentivos a la conservación, manejo sostenible y restauración ecológica, y que se elaborarán especialmente para las tierras fraccionadas, evitando el cambio de uso de suelo y la deforestación de bosques naturales. De tal forma, en el artículo 118 se dictamina que en las actividades de restauración ecológica de suelos o ecosistemas se priorizará la regeneración natural cuando esta sea posible técnica, económica y socialmente. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados, en el marco de sus competencias, darán atención prioritaria a los suelos degradados o en proceso de desertificación, bajo lineamientos de la Autoridad Ambiental Nacional (Código Orgánico del Ambiente, 2018).

El artículo 119, por su lado, tiene vital relación con este proyecto pues se menciona que se impulsarán e implementarán programas o proyectos de reforestación con fines de conservación o restauración, en general, en todas aquellas áreas que se encuentren en proceso de degradación. Solo procederán las plantaciones forestales con fines de conservación que se ejecuten con una combinación de especies nativas o con fines de enriquecimiento y aceleración de la sucesión secundaria o en programas especiales para zonas prioritarias seleccionadas (Código Orgánico del Ambiente, 2018).

El artículo 122 establece que en ningún caso las plantaciones forestales con fines de conservación y producción afectarán o reemplazarán las áreas cubiertas con bosques naturales, vegetación nativa y arbustiva, ecosistemas frágiles,

servidumbres ecológicas o zonas de protección permanente de agua, áreas bajo un esquema de incentivos para la conservación y áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Código Orgánico del Ambiente, 2018).

3.3 Reglamento al Código Orgánico del Ambiente

En este reglamento se establece en el artículo 332 que la Autoridad Ambiental Nacional elaborará lineamientos para la restauración ecológica de suelos o ecosistemas, y la atención prioritaria a los suelos degradados o en proceso de desertificación. Además, se menciona en el artículo 334 que se formulará e implementará un Plan Nacional de Restauración Ecológica, el cual tendrá por objetivos: a) Restaurar ecosistemas degradados por pérdida de cobertura vegetal; b) Priorizar las áreas para la implementación de planes, programas y proyectos de restauración; c) Fomentar un trabajo articulado con la academia para levantar atributos de medición en líneas base y niveles de referencia en temas de restauración; d) Fomentar la implementación de fuentes semilleras y viveros en coordinación con los distintos actores; e) Fomentar la participación del sector privado en actividades de restauración en las diferentes circunscripciones territoriales a nivel nacional, bajo lineamientos específicos incluidos en la norma técnica a fin de recuperar el estado natural de los ecosistemas (Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, 2019).

Para aplicar lo establecido en el artículo 334, literal b, se priorizará lo siguiente: áreas con cobertura vegetal que hayan sufrido incendios forestales, zonas en proceso de desertificación, zonas de recarga hídrica, zonas erosionables por fuertes pendientes, zonas de importancia para la conectividad ecológica, áreas degradadas cercanas a bosque, áreas protegidas, áreas especiales para la conservación de la biodiversidad, bosques y vegetación protectores degradados, ecosistemas frágiles degradados, áreas de bosque nativo degradadas y áreas con alta vulnerabilidad a eventos estocásticos (Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, 2019).

El artículo 336 tiene vital relevancia para este estudio, pues menciona que la Autoridad Ambiental Nacional promoverá la restauración de zonas y ecosistemas degradados y, en coordinación con la Autoridad Nacional de Gestión de Riesgos, establecerá lineamientos para la restauración de zonas determinadas como

vulnerables y de riesgo con base en una priorización técnica. En definitiva, lo expuesto hace referencia a lo que se ha ido realizando en el cerro Mishquiyacu pues en éste se desea implementar una propuesta de restauración, ya que ha sido declarado como zona vulnerable o de riesgo por su alta probabilidad de movimientos de masas. Así mismo, en el artículo 337 se indica que las personas naturales y jurídicas podrán presentar planes, programas y proyectos al Ministerio del Ambiente, para implementar actividades en áreas bajo procesos de restauración ecológica (Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, 2019).

3.4 Norma para el Manejo Sustentable de los Bosques Andinos

Esta norma para el Manejo Sustentable de los Bosques Andinos, vigente hasta el momento de realizar este proyecto de tesis, establece en su artículo 5, que las zonas para protección permanente son las áreas con bosques o vegetación nativa que reúnan una serie de criterios, tales como: a) áreas ubicadas en pendientes superiores al 100% (45 grados); b) áreas ubicadas a lo largo de ríos, quebradas, ojos de agua o de cualquier curso de agua permanente o intermitente, de acuerdo a las siguientes consideraciones: si el ancho de río o quebrada tiene hasta 3 metros, la franja de protección permanente a cada lado del río o quebrada tendrá 20 metros; si el ancho de río o quebrada tiene entre 3 y 6 metros, la franja de protección permanente a cada lado del río o quebrada tendrá 30 metros; si el ancho de río o quebrada es mayor a los 6 metros, la franja de protección permanente a cada lado del río o quebrada tendrá 50 metros; c) áreas ubicadas alrededor de lagos, lagunas, reservorios y represas; naturales o artificiales, en franja paralela al margen con un ancho mínimo de 40 m; d) áreas cubiertas de bosques nativos con presencia de especies endémicas o en peligro de extinción, así declaradas por el Ministerio del Ambiente. En caso de que estas áreas se encuentren severamente intervenidas deberán ser destinadas a rehabilitación o restauración; e) áreas que, según los estudios biológicos, son hábitat de poblaciones de fauna o flora amenazadas de extinción; f) áreas que contienen sitios de valor cultural, histórico o arqueológico; g) áreas con árboles identificados como semilleros. Además, las áreas de recuperación con pendientes superiores al 100%, serán destinadas exclusivamente a la restauración a través del manejo de la regeneración natural o enriquecimiento con especies nativas. Cuando la pendiente sea menor al 100% se podrá reforestar con especies nativas o exóticas siempre

que no se comporten como especies invasoras (Norma para el Manejo Sustentable de los Bosques Andinos, 2006).

3.5 Decreto Ejecutivo N° 389

La Presidencia de la República el 17 de junio de 2010 emitió este decreto mediante el cual establece en su artículo 1 que se declare el estado de excepción en la zona 1 de la Josefina de la provincia del Azuay, a fin de prevenir potenciales deslaves, remediar los daños causados en el cauce del río Paute debido a la deforestación, alteración del sistema de drenaje y explotación mineral ilegal, para evitar perjuicios a la población y la afectación el sistema eléctrico nacional, que generaría una grave conmoción nacional (Decreto Ejecutivo N° 389, 2010).

Para precautelar la seguridad de la población en el artículo 3 se menciona que se debe disponer la movilización de los habitantes del área de influencia directa e indirecta de la cuenca del río Paute, de manera que las entidades de administración pública central e institucional y los gobiernos autónomos descentralizados coordinen esfuerzos con el fin de ejecutar las acciones necesarias e indispensables para la atención del presente estado de excepción. De la misma manera en el artículo 7, se dispone al Ministerio del Ambiente que efectúe la declaratoria de utilidad pública en la zona e inicié el proceso de expropiación, de ser el caso. Así mismo, el artículo 8 menciona que se debe disponer al ministerio coordinador de seguridad que elabore el informe para que se declare a la Zona 1 de la Josefina como zona reservada de seguridad (Decreto Ejecutivo N° 389, 2010).

3.6 Acuerdo Ministerial N° 222

El Ministerio del Ambiente emitió el 25 de noviembre de 2010 este acuerdo, en el cual se establece en el artículo 1, el delegar al Proyecto de Reparación Ambiental y Social (PRAS), las consignaciones de los procesos de expropiación de los inmuebles ubicados en la zona 1 de la Josefina que fueron declarados de utilidad pública y que las consignaciones presupuestarias serán entregadas por el Estado a través del presupuesto del Ministerio del Ambiente para los fines pertinentes. Además, la promulgación de todos los actos administrativos quedará a cargo de la coordinación del PRAS, institución que a su vez rendirá cuentas de los

avances del proyecto a la máxima autoridad del Ministerio del Ambiente (Acuerdo Ministerial No. 222, 2010).

CAPÍTULO III

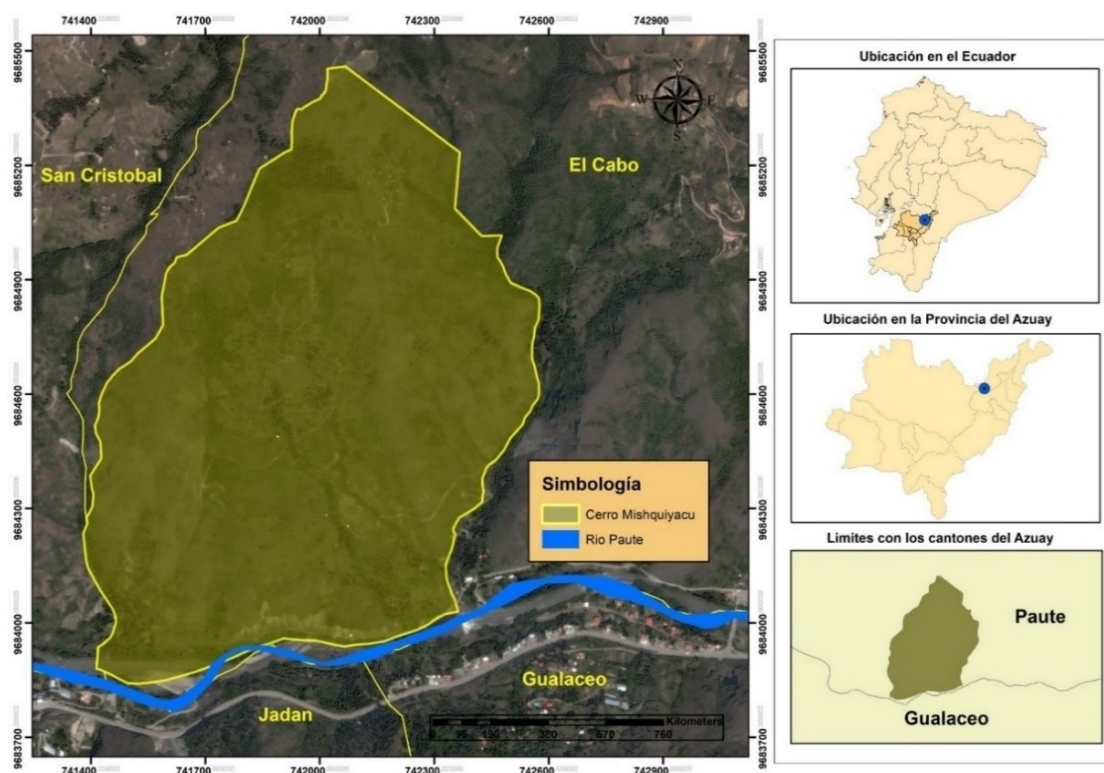
4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Zona de Estudio

El cerro Mishquiyacu está situado al sur del Ecuador, en la provincia del Azuay, cantón Paute. Limita al norte, este y oeste con la parroquia de El Cabo; al sur con el río Paute y las parroquias de Jadán y Gualaceo, que pertenecen al cantón Gualaceo; y al sur-oeste con la parroquia San Cristóbal como se observa en la Figura 1. Se ubica entre las coordenadas: X=742064 Y=9685459; X=742574 Y=9684604; X=741381 Y=9684226; X=742121 Y=9683943; según los datos proyectados por el INEC de la parroquia El Cabo, a la cual pertenece, en el año 2020 se estimaba una población de 3804 habitantes.

Posee un área total de 125,47 hectáreas; el clima se puede catalogar como ecuatorial mesotérmico semi húmedo y el tipo de ecosistema como bosque seco montano bajo (ver Anexo 11). Los cuerpos de agua más importantes son las quebradas Mishquiyacu y Socayacu, y el río Paute, el cual cruza por una pequeña zona de su superficie, tiene un caudal medio de 43 m³/seg. La temperatura promedio es de 14,5 °C y su precipitación promedio es de 750 mm. Encontrándose a una altitud de entre los 2 265 y 2 940 m.s.n.m.

Figura 1: Ubicación del cerro Mishqiyacu



Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (MAAE, 2020b).

4.2 Insumos satelitales, programas de computadora y equipos de campo

Los insumos, programas y equipos con los cuales se realizó este trabajo de titulación fueron los siguientes: una imagen satelital SuperView-1 de una resolución espacial de 50 cm, obtenida a una altitud de 530 km, el 29 de enero de 2020; una fotografía aérea de la zona 1 de la Josefina de 30 cm de resolución, del año 2011; una imagen satelital QuickBird de 60 cm de resolución, del año 2009; ArcGIS 10.5; ENVI 5.3; Microsoft Excel; 1 GPS Garmin 650; 1 libreta de campo; 1 cámara fotográfica, 1 cuerda de 20 metros y 1 cinta métrica de 50 metros.

4.3 Cartografía base

Tabla 2: Cartografía base utilizada en el proyecto

Nombre	Tipo de Archivo	Año	Fuente
Curvas de Nivel de la Zona 1 de la Josefina	<i>Shapefile</i>	2020	MAAE
Movimientos de masas del cantón Paute	<i>Ráster</i>	2011	SNGR
Ríos dobles de la cuenca del río Paute	<i>Shapefile</i>	2008	IGM
Quebradas de la cuenca del río Paute	<i>Shapefile</i>	2008	IGM
Áreas de bosque y vegetación protectora del Ecuador	<i>Shapefile</i>	2019	MAE
Geología y Geomorfología del Azuay	<i>Shapefile</i>	2015	MAE-MAGAP
Evapotranspiración Media Anual Provincia del Azuay	<i>Shapefile</i>	2018	IEE
Ecosistemas Provincia del Azuay	<i>Shapefile</i>	2018	Prefectura del Azuay
Precipitación Media Anual Provincia del Azuay	<i>Shapefile</i>	2018	IEE
Temperatura Media Anual Provincia del Azuay	<i>Shapefile</i>	2018	IEE
División política administrativa del Ecuador	<i>Shapefile</i>	2020	MAAE

Elaborado por: Autor, 2021.

4.4 Metodología

4.4.1 Metodología aplicada en el diagnóstico de la zona de estudio.

a) Uso y cobertura del suelo del cerro Mishquiyacu 2020.

El mapa de uso y cobertura del suelo fue elaborado a partir de una imagen satelital SuperView-1, con una resolución espacial de 50 cm¹. Los criterios que se utilizaron para la selección fueron: que sea tomada en el año 2020, poseer menos del 10% de nubes, estar libre de distorsiones, no tener sombras y errores sobre la zona de estudio. A continuación, se muestra en la Tabla 3 las características específicas de la imagen satelital.

¹ Comprada a la empresa Geospace Solutions.

Tabla 3. Características de la imagen satelital SuperView-1

Bandas del Sensor	
Pancromático	450 – 890 nm
Multi espectral	Azul 450 - 520 nm
	Verde 520 - 590 nm
	Rojo 630 - 690 nm
	Infrarrojo 770 - 890 nm
Resolución Espacial	
Pancromático	0,5 metros
Multi espectral	2 metros
Datos del Satélite SuperView-1	
Orbita	Altitud 530 km
	Periodo 97 minutos
	Tipo Sincrónico al sol
Vida útil	8 años
Masa	560 kg
Ancho de la imagen	12 km
Rango dinámico	11 bits
Almacenamiento abordo	2 TB
Tiempo de revisita	2 días
Precisión de posicionamiento	9,5 m CE90
Transmisión de datos	2*450 Mbps
Capacidad diaria	900000 km2

Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (Geospace Solutions, 2020).

Una vez obtenida la imagen se efectuó el preprocesamiento de la misma por medio del programa ENVI 5.3 en el cual, para lograr su depuración y validación, previo a la clasificación de las coberturas, se realizó una serie de pasos, utilizando diferentes algoritmos para cumplirlos, los cuales se detallan a continuación:

1. Fusión de imágenes: Para comenzar, se utilizó el algoritmo *Gram-Schmidt Pan Sharpening* el cual se encuentra en la caja de herramientas; en la carpeta *Image Sharpening*. Esta herramienta sirvió para unir las dos clases de imágenes que proveyó el satélite, la imagen pancromática con escala de grises y una resolución de 50 centímetros, y la imagen multiespectral de cuatro bandas (azul, verde, roja e infrarroja) con una resolución de 2 metros. Lo que se realizó fue que el nivel de detalle de la pancromática (50 cm), cuando se hizo la fusión, adquirió el color y las características de la multi espectral.
2. Mosaico: La empresa Geospace Solutions proporcionó dos imágenes satelitales, que comprenden 25 kilómetros cuadrados pues, es el área mínima de venta y también debido a que por las características del satélite

que paso por la zona de estudio no se encontraba, en una sola imagen, toda el área completa del cerro Mishquiyacu. Entonces para unir estas dos imágenes se utilizó el algoritmo *Seamless Mosaic* que se encuentra en la caja de herramientas, en la carpeta *Mosaicking*. Esta herramienta permitió formar una sola imagen y realizar la corrección de color mediante la opción *Histogram Matching* que utilizó una imagen de referencia para balancear los colores y por medio de esto se obtuvo una imagen homogénea.

3. Editar metadato: Una vez constituida la imagen se procedió a eliminar los píxeles que están en negro alrededor de la misma, los cuales son espacios sin información. Para esto se dirigió a la herramienta *View Metadata* en la cual señalamos la opción *Add Metadata Item* para agregar un elemento a los metadatos, el cual fue *Data Ignore Value*. Este elemento permitió decirle al software que no considere un valor, en cuyo caso fue el valor de 0, que es el valor de los píxeles que se encontraban en negro. Después, se realizó la asignación de las longitudes de onda, expresadas en nanómetros (nm), que componen la imagen satelital; mediante la opción *Add Metadata Item* se agregó el elemento *Wavelength* en el cual se colocó el valor promedio de cada longitud de onda que se muestra en la Tabla 4. Esto no es similar para todas las imágenes, cada una tiene sus propios valores de longitud de onda.

Tabla 4: Valores de las longitudes de onda de la imagen satelital SuperView-1

Banda	Longitud de onda (nm)		Promedio (nm)
Azul	450	520	485
Verde	520	590	555
Rojo	630	690	660
Near-IR	770	890	830

Elaborado por: Autor, 2021. **Fuente:** (Geospace Solutions, 2020).

4. Corrección atmosférica: Las imágenes SuperView-1 usualmente vienen con un nivel de corrección llamado radiancia, siendo esta la luz que va desde la superficie terrestre hasta el sensor (Aguilar, Mora y Vargas, 2014). Entonces lo que se procedió a hacer fue transformar esos valores (radiancia) a unidades físicas, estas se representan en porcentajes, y, no es otra cosa que el porcentaje de la energía que se refleja de los objetos. Por esta razón es que, se pudo identificar un bosque de un pasto, un cuerpo de agua de un techo, etc. Debido a que cada objeto tiene su reflectancia (Geospace

Solutions, 2020). Para realizar la corrección atmosférica se utilizó el algoritmo llamado *Quick Atmospheric Correction* (QUAC) que se localiza en la caja de herramientas; en la carpeta denominada *Radiometric Correction*; en la subcarpeta de *Atmospheric Correction Module*. Esta herramienta mejoró la calidad visual de la imagen, así como el haber eliminado el componente intrusivo de la atmósfera (Aguilar et al., 2014).

5. Corrección geométrica: Teniendo en cuenta que la imagen ya fue corregida atmosféricamente mediante QUAC, se llevó a cabo la corrección geométrica. Esto significa que se mejoró la precisión de la imagen, al empatar con otros elementos que coincidan en el terreno, debido a que estaba movida desde el punto original real entre 10 a 20 metros, a esto se denomina el error medio cuadrático (Geospace Solutions, 2020). Entonces se procedió a utilizar una imagen de referencia ya corregida totalmente del año 2011 facilitada por el MAAE, para calzar sobre la imagen 2020 y corregirla; éste es un proceso que se llama co-registro. Por lo tanto, para ejecutar todo esto, se dirigió a la carpeta *Geometric Correction*, se ingresó en la subcarpeta *Registration*, en donde se utilizó el algoritmo llamado *Image Registration Workflow* para llevar a cabo la corrección geométrica de la imagen SuperView-1.

Inmediatamente a continuación se inició con el proceso de clasificación de las coberturas del cerro Mishquiyacu, en el cual se utilizó la imagen corregida del año 2020 que se obtuvo del preprocesamiento. Para esto se adaptó la leyenda temática propuesta en el protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador continental de los años 2013-2014 (ver Tabla 5).

Para llevar a cabo este procesamiento, se ejecutó el algoritmo *Example Based Feature Extraction Workflow*, encontrándose en la caja de herramientas, en la carpeta *Feature Extraction*. Esta herramienta permitió clasificar utilizando objetos que son la conjunción de unidades homogéneas que consideran también la respuesta de los píxeles, pero adicional utilizan criterios de forma o espaciales, por ejemplo, objetos que son alargados o circulares, como los techos, ríos o vías (Geospace Solutions, 2020). Entonces la imagen utilizada al ser de alta resolución (50 cm), su clasificación se volvió muy útil y precisa. Una vez realizada la

clasificación se procedió a realizar el mapa de uso y cobertura del suelo 2020, a escala 1: 5 000, mediante el programa ArcGIS 10.5.

Tabla 5: Leyenda temática de uso y cobertura del suelo

Nivel I	Nivel II
Bosque	Bosque Nativo
	Plantación Forestal
Tierra Agropecuaria	Cultivo
	Pastizal
Vegetación Arbustiva y Herbácea	Vegetación Arbustiva
	Vegetación Herbácea
	Páramo
Cuerpo de Agua	Natural
	Artificial
Zona Antrópica	Área Poblada
	Infraestructura
Otras tierras	Glaciar
	Área sin cobertura vegetal
Sin información	Sin información

Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (MAE y MAGAP, 2015).

b) Estado de salud de la vegetación.

Para realizar el análisis del estado de salud de la vegetación en el cerro Mishquiyacu, se procesó la imagen satelital Superview-1, utilizando el Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*), cuyo objetivo es el de servir como indicador de la actividad fotosintética de una planta que a su vez muestra la calidad o salubridad de la vegetación (Toribio, 2019).

El cálculo de este índice se lo llevo a cabo mediante el programa ENVI 5.3, en el cual se utilizó el algoritmo NDVI, que se encuentra en la carpeta *Spectral*, subcarpeta *Vegetation*. Esta herramienta utiliza las bandas del rojo visible e infrarrojo cercano en donde si el pigmento de clorofila de una planta absorbe más luz roja y refleja en mayor cantidad la infrarroja indicará que está saludable y con una cubierta vegetal densa. En cambio, si la planta refleja la luz roja y absorbe la infrarroja indicará que la planta está enferma o con estrés hídrico (Toribio, 2019).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

La fórmula con la que se calculó el índice NDVI (1) indica que RED es la reflectancia de la luz roja visible y NIR es la reflectancia de la luz infrarroja cercana. Los valores que se pueden obtener pueden estar entre -1 y 1. Por lo general los valores superiores a 0.1 suelen indicar presencia de vegetación, y mientras el índice sea mayor, la vigorosidad de las plantas será mejor. También es importante mencionar que estos datos pueden variar dependiendo de la época del año, clima, especie, las condiciones propias de cada ecosistema, entre otros (Díaz, 2015).

c) Pendientes.

Para obtener el mapa de pendientes, a escala 1: 5 000, de la zona de estudio, se manejó el programa ArcGIS 10.5, para lo cual se procedió a utilizar las curvas de nivel de 5 metros facilitadas por el MAAE, generando un modelo digital de terreno (MDT), el mismo que al ser procesado por la herramienta *Slope*, dio como producto el *shapefile* de pendientes. A esta capa se aplicó la herramienta *Reclassify* para volver a reclasificar las pendientes, las cuales para intereses de este estudio se las clasificó en cuatro rangos adaptando la metodología y leyenda temática propuesta por el Consorcio Río Garagoa (2017), como se puede visualizar en la Tabla 6.

Tabla 6: Leyenda temática de pendientes

Porcentaje (%)	Grados (°)	Descripción
0-3	0-2	Plano
4-7	2-4	Ligeramente inclinado
7-12	4-7	Moderadamente inclinado
12-50	7-14	Fuertemente inclinado
25-50	14-27	Ligeramente escarpado
50-75	27-37	Moderadamente escarpado
>75	>37	Fuerte escarpado

Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (Consorcio Río Garagoa, 2017).

d) Cuerpos de agua.

Los shapefiles de cuerpos de agua del cerro Mishquiyacu fueron generados a partir de un MDT, con un tamaño de celda de un metro, creado a partir de curvas de nivel proporcionadas por el MAAE. Por medio del programa ArcGIS 10.5, se

utilizó la herramienta *Flow Direction*, calculando las direcciones por donde el agua fluye en toda la superficie del área de estudio.

Seguido de esto se llevó a cabo el proceso de acumulación de todos los flujos que tienen lugar en el cerro por medio de la herramienta *Flow Accumulation*, esta indica en donde se acumula el drenaje del terreno. Luego se trabajó con la herramienta *Ráster Calculator*, para discriminar e identificar la red hídrica del sector.

Esta red hídrica generada puede tener una discontinuidad ocasionada por pequeñas variaciones en el MDT; que se soluciona aplicando la herramienta *Stream Link*, dando como resultado la capa de cuerpos de agua, compuesta principalmente por quebradas. Todas estas herramientas se ubican en la carpeta de *Spacial Analyst Tools* en el módulo de *Hydrology*.

Los nombres de las quebradas se obtuvieron por medio de información bibliográfica proporcionada por el MAAE y comunicación con los ciudadanos que viven alrededor del área de estudio (ver Anexo 4). Además, los habitantes brindaron información con lo que respecta al tipo de corriente que tiene cada quebrada, conociendo de esta manera si es que son perennes, intermitentes o efímeras, a manera de un primer acercamiento que luego fue comprobado con la información cartográfica y visitas en campo con técnicos del MAAE. Una vez obtenida esta información se procedió a realizar el mapa de cuerpos de agua a escala 1: 5 000.

e) Variables obtenidas a partir de información bibliográfica y cartografía base.

Para finalmente obtener todo el diagnóstico inicial, se utilizó el programa ArcGIS 10.5, además de la información cartográfica y bibliográfica obtenida de las instituciones públicas entre las cuales se encuentran: el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), Ministerio del Ambiente y Agua (MAAE), Prefectura del Azuay, Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR), Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Paute (GADM Paute), Instituto Geográfico Militar (IGM), Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) e Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Los apartados de precipitación y temperatura, que se realizaron para el diagnóstico de la zona de estudio, fueron obtenidos a partir de información

procesada y verificada del GAD Municipal de Paute, INAMHI e IEE, en donde se extrajo del PDOT de Paute información bibliográfica con respecto a estas variables. Para realizar las tablas y gráficos se utilizó series temporales de datos mensuales a nivel cantonal de los años 2008 a 2015 y para realizar los mapas se utilizó *shapefiles* provistos por el IEE, con series temporales anuales de datos ya calculados de los años 2012 a 2018, mismos que se tomaron como datos directos.

Para los apartados de geología y geomorfología, se utilizó información proporcionada por el SIGTIERRAS del año 2015, esta información fue bibliográfica y cartográfica, con la cual se realizó los mapas, tablas y gráficos, después se procedió a la interpretación de la información.

En lo concerniente a los movimientos de masas, se realizó a partir de información cartográfica y bibliográfica, provista por la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos, esto sirvió para realizar el mapa, tablas y gráficos. Estos datos fueron comprobados y verificados por técnicos competentes de esta institución. Además, lo que se indica en los rangos de este *shapefile* es una probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento de tierras, que puede ocurrir hoy como en 100 años (SNGR, 2011).

Las áreas de bosque y vegetación protectora fueron obtenidas del MAAE y en las cuales se determinó la distancia a la cual estaban del cerro Mishquiyacu, realizando un mapa y a la vez se utilizó información bibliográfica obtenida del PDOT del cantón Paute acerca de estas áreas. Así mismo, el MAAE facilitó dos imágenes satelitales de los años 2009 y 2011, para compararlas con la imagen satelital del año 2020, adquirida para este trabajo de titulación de la empresa Geospace Solutions, y por medio de esto realizó el análisis histórico de la zona de estudio.

4.4.2 Análisis Multicriterio.

Para realizar la evaluación multicriterio mediante el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), para este proyecto, se adaptó la metodología aplicada por Arias (2018), en cuanto las variables utilizadas (uso de suelo, pendientes, movimientos de masas y cuerpos de agua), y la metodología aplicada por Cobos y Solano (2020), con lo que respecta al método AHP, las cuales tuvieron muy buenos resultados y

que, para el caso actual, permitieron alcanzar las ponderaciones para cada variable. A continuación, se presentan las fases que se llevaron a cabo.

a) Variables identificadas para la priorización.

Se identificaron las variables más importantes que tienen influencia en los procesos degradativos o que sufren algún grado de afectación, las cuales puedan comprometer la integridad del cerro Mishquiyacu, en sus condiciones físicas y biológicas, y que a su vez son suficientes para llegar a resultados cercanos a la realidad, para establecer zonas prioritarias y realizar la propuesta de restauración. También se consideró que la información provenga de fuentes oficiales (shapefiles, capas ráster, etc.) y que las variables sean utilizadas en trabajos previos y verificados, realizados en proyectos de restauración ecológica como el caso de Arias (2018); a continuación se destaca su importancia.

Uso y cobertura del suelo 2020

Para lograr una apropiada planificación territorial y restauración ecológica es necesario contar con datos actualizados de uso y cobertura del suelo. Estos datos geográficos, permiten observar actividades antrópicas que afectan a los ecosistemas y al tener una visión actual de lo que sucede se pueden plantear soluciones en beneficio de las áreas degradadas. Esta variable concede la oportunidad de gestionar de mejor forma las áreas que han ido creciendo como por ejemplo los pastizales por la ampliación de la frontera agrícola o manejar de mejor manera las áreas que aún están cubiertas por bosque nativo (MAE y MAGAP, 2015).

Además, es de gran importancia porque desde su generación en el proceso de clasificación de las coberturas se toma en consideración condiciones biofísicas observadas en campo como infraestructuras antropogénicas o vegetación. Este análisis espacial se fundamenta en una leyenda temática que define tipos de cobertura mutuamente homogéneos y excluyentes a diferente escala. Existen condiciones generales como la naturaleza de los procesos que generan la cobertura (agricultura, ganadería, etc.) y el aspecto de la vegetación (bosque, páramo, vegetación arbustiva, etc.) que sirven para representar los ecosistemas (Báez et al., 2010).

De esta manera con una capa obtenida a escala 1: 5 000, se ofrece un nivel de detalle excelente, reflejando la realidad del cerro Mishquiyacu y mediante esto se puede verificar todo lo que sucede en esta zona de estudio. Mientras tanto, al tener detalles más específicos de algunos procesos, como: la erosión, deforestación, ganadería, compactación del suelo, introducción de especies, entre otros; se pueden obtener resultados más precisos al realizar el análisis multicriterio y en comparación con el uso de suelo a escala nacional, en donde detalles como estos del cerro Mishquiyacu no se ofrecen, se hace evidente su importancia (MAE y MAGAP, 2015).

Pendientes

Para la variable de pendientes se tomó en cuenta que, ésta influencia la conducta de los flujos de aguas por la longitud de su inclinación, característica del suelo que al depender de la existencia de vegetación o no, puede provocar erosión. Es importante considerar que mientras más tenga un terreno inclinación y longitud de la pendiente, la erosión, al desarrollarse puede ser más fuerte (Arias, 2018).

El cerro Mishquiyacu se encuentra en un área con fuertes pendientes las cuales son factores determinantes al momento de incidir en procesos erosivos y están relacionadas directamente con deslizamientos de suelo (SNGR, 2011). En la zona de estudio se realizaban actividades antrópicas como la agricultura y ganadería, las cuales deterioraron el horizonte fértil del suelo en algunas áreas, estas al estar sometidas a las condiciones climáticas, y al desarrollarse sobre pendientes superiores al 30%, incidieron para que existan zonas con erosión.

Es por eso que esta variable es relevante para el estudio, en el cual se utilizó la norma Manejo Sustentable de los Bosques Andinos (2006), de la cual se partió para realizar la clasificación de las pendientes, obteniendo una capa shapefile a escala 1: 5 000, en la que se consideran zonas de protección permanente a los bosques o vegetación nativa ubicadas en áreas con pendientes superiores al 100% (45°) (Norma para el Manejo Sustentable de los Bosques Andinos, 2006). Este nivel de detalle en las pendientes que se obtuvo en el mapa sirve para obtener excelentes resultados en el análisis multicriterio.

Cuerpos de agua

Esta variable es importante pues el recurso agua está relacionado directamente con el desarrollo de la vida, debido a que la viabiliza en todas sus formas (Castro, Monge, Rocha y Rodríguez, 2007). Por lo tanto los cuerpos de agua, son regímenes de vida, compuestos por varias especies de flora y fauna interrelacionadas con la atmosfera y el hábitat (Borja, 2010). Hay que tener en cuenta también que un cuerpo de agua son todas las concentraciones o flujos de agua artificial o natural que componen los ríos, quebradas, lagos, lagunas, embalses, entre otros (Arias, 2018) y que a su vez conforman las cuencas hidrográficas, los cuales se generan por factores geomorfológicos y climáticos que allí se dan (Labarca, Bernal, Barreto y Solano, 2016).

Por tanto, esta variable se tomó en cuenta debido a que el agua es la base de todos los procesos ambientales y por ende se deben proteger todos los cursos hídricos del cerro Mishquiyacu. El agua es fuente generadora de vida, ya que promueve el desarrollo de vegetación de ribera en todas las quebradas que lo componen y estas a su vez desembocan en el río Paute. En el caso de no protegerse los bosques de ribera de quebrada y sus causas, se pueden generar alteraciones en estos ecosistemas; además de perjudicar la calidad y cantidad del recurso hídrico en la zona de estudio (Arias, 2018).

Por esta razón, para aplicarla en el análisis multicriterio, con una escala 1: 5 000, se utilizó la Norma para el Manejo Sustentable de los Bosques Andinos (2006), en la cual se especifica que se deben formar zonas de protección ambiental en áreas situadas alrededor de quebradas, ríos, ojos de agua o cualquier curso de agua intermitente o permanente, para lo cual en este caso de estudio, según dicta la norma, se debe proteger un ancho mínimo de 20 metros tomando en cuenta que el ancho de las quebradas es menor a 3 metros (Norma para el Manejo Sustentable de los Bosques Andinos, 2006).

Movimientos de masas

Esta variable fue tomada en consideración pues uno de los desastres naturales que se han desarrollado con mayor frecuencia alrededor del mundo son los movimientos de masas. Debido a la expansión urbana sobre cadenas montañosas inestables y con pendientes pronunciadas, esto ha generado una

mayor cantidad de víctimas fatales por desastres y pérdidas económicas elevadas (Aristizábal, Martínez y Vélez, 2010).

Los movimientos de masas son provocados por la pérdida progresiva de la cohesión entre los materiales que conforman las pendientes de las cordilleras, debido a procesos (sismos, meteorización, actividades antropogénicas, etc.) que no se pueden identificar a simple vista y que producen movimientos lentos de terreno (Soeters y Van Westen, 1996).

Por tales motivos, esta variable cobra gran importancia en este estudio, ya que el cerro Mishquiyacu es un área propensa a deslaves por localizarse en una zona que tiene una alta probabilidad de movimientos de masas debido a sus condiciones litológicas y geomorfológicas (SNGR, 2011). Además de que los deslizamientos de tierra también están ligados a la pérdida de los servicios ambientales pues hacen que disminuyan las coberturas vegetales en las laderas cuando ocurren (Vargas, 2011).

Estos problemas fueron el justificativo para que el Gobierno, emita el Decreto Ejecutivo No. 389 el 17 de junio de 2010, declarando en estado de excepción la Zona 1 de la Josefina, en la cual se encuentra el cerro objeto de estudio, con la meta de prevenir posibles deslizamientos de tierra y reparar los impactos ambientales ocasionados en la cuenca del Río Paute (Decreto Ejecutivo N° 389, 2010). Con lo cual, al quedar demostrada la influencia de esta variable, se la incluyo en el análisis multicriterio puesto que se obtuvo una capa *shapefile* de escala 1: 25 000, facilitada por la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos.

b) Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

El proceso de análisis jerárquico se lo armó con el objetivo de dar solución a una interrogante que se tenía la cual es: ¿Qué área se debe intervenir primero o con mayor prioridad al momento de realizar la restauración ecológica en el cerro Mishquiyacu? Por consiguiente, para determinar los valores de importancia de cada variable se construyó una matriz de comparación por pares o de dos en dos. Esto para establecer prioridades entre los elementos de un nivel, con respecto a un elemento del nivel superior, utilizando conceptos de álgebra matricial (Osorio y Orejuela, 2008).

Esta matriz de comparación, como se observa en la Tabla 7, muestra que las variables que tenemos en la fila i son iguales a las de la columna j , y que, al comprarse, es decir A_j con A_i , el valor que se obtendrá será 1, por la razón de que al ser las mismas variables tendrán la misma importancia. También para comparar las diferentes variables se utilizó la escala de valores de entre 1 y 9 para obtener la importancia de cada elemento (Cobos y Solano, 2020). En donde A_j/A_i es inversamente proporcional a A_i/A_j , esto certifica que la priorización se efectúe de forma bidireccional (Osorio y Orejuela, 2008), dicho en otras palabras si a B_j se le da un valor de 3, B_i tendrá un valor de $1/3$, pues estamos diciendo que B_j es más importante que B_i .

Tabla 7: Matriz de comparación por pares

Variables	A_j	B_j	C_j	D_j
A_i	A_{ij}			
B_i		B_{ij}		
C_i			C_{ij}	
D_i				D_{ij}
Suma	SA_{ij}	SB_{ij}	SC_{ij}	SD_{ij}

Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (Cobos y Solano, 2020).

En la Tabla 8, se presenta la escala de valores y su significado, los cuales fueron utilizados en la matriz de comparación por pares. Estos valores ayudaron a determinar la predilección entre una u otra variable. Los que se utilizaron en este estudio fueron los de intensidad 1, 3 y 5. Por motivo de que no existía una predominancia muy fuerte o extrema de una variable con respecto a otra.

Tabla 8: Escala de valores

Intensidad	Definición	Explicación
1	De igual importancia	Las dos actividades contribuyen de igual forma al objetivo.
3	Moderada importancia	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra.
5	Importancia Fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra.

7	Muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la práctica.
9	Extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra, es absoluta y totalmente clara
	Valores	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes
2,4,6,8	intermedios	
Recíprocos	$a_{ij}=1/a_{ji}$	Hipótesis del método

Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (Osorio y Orejuela, 2008).

A continuación, se procedió a conformar la matriz normalizada, para esto se suman los valores de intensidad (1,3,5,7 y 9) que se le dieron a cada variable en la matriz de comparación por pares, después para cada elemento se divide la sumatoria de su columna A_{ij}/SA_{ij} , este procedimiento da como resultado W_1 , W_2 , W_3 y W_4 . Después para obtener la ponderación o vector de pesos W se realiza un promedio de cada fila (Cobos y Solano, 2020). Este procedimiento se repite para todas las variables y también se realiza para compararlas entre sí (Osorio y Orejuela, 2008), como se puede observar en la Tabla 9.

Tabla 9: Matriz Normalizada

			Vector de pesos W	Vector de prioridad nW
A	W_1	$W_n...$	W_a	nW_1
B	W_2	$W_n...$	W_b	nW_2
C	W_3	$W_n...$	W_c	nW_3
D	W_4	$W_n...$	W_d	nW_4
				nW_{max}

Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (Cobos y Solano, 2020).

Finalmente, el vector de prioridades nW (ver Tabla 9) se lo obtuvo mediante una multiplicación entre el vector de pesos W y la matriz de comparación por pares, con lo cual se consiguió nW_{max} , al realizar una sumatoria de todos los elementos de nW . Esto se realizó con el fin de calcular la relación de consistencia (4), siendo el resultado de la división entre el índice de consistencia (2) y el índice de consistencia aleatoria (3). Es importante mencionar que estos índices siempre estarán en función con el número de variables (n). Una vez calculada la razón de consistencia se evaluó la matriz planteada por motivo de que, si supera el 0,1

revelara que los datos son inconsistentes, pero si tiene datos menores a 0,1 indicará que son consistentes (Cobos y Solano, 2020).

$$IC = \frac{nWmax - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$ICA = \frac{1,98 (n - 2)}{n} \quad (3)$$

$$RC = \frac{IC}{ICA} \quad (4)$$

c) Criterio de expertos.

El criterio de expertos fue muy relevante desde la concepción de este trabajo de titulación ya que debido al convenio interinstitucional firmado entre la Universidad Católica de Cuenca (UCACUE) y el MAAE, existió una verdadera cooperación entre los técnicos de esta institución gubernamental y los docentes de la UCACUE, en donde se organizaron 8 visitas al cerro Mishquiyacu con apoyo logístico y asesoramiento técnico del MAAE para poder verificar lo realizado en el SIG y para realizar el inventario de especies vegetales.

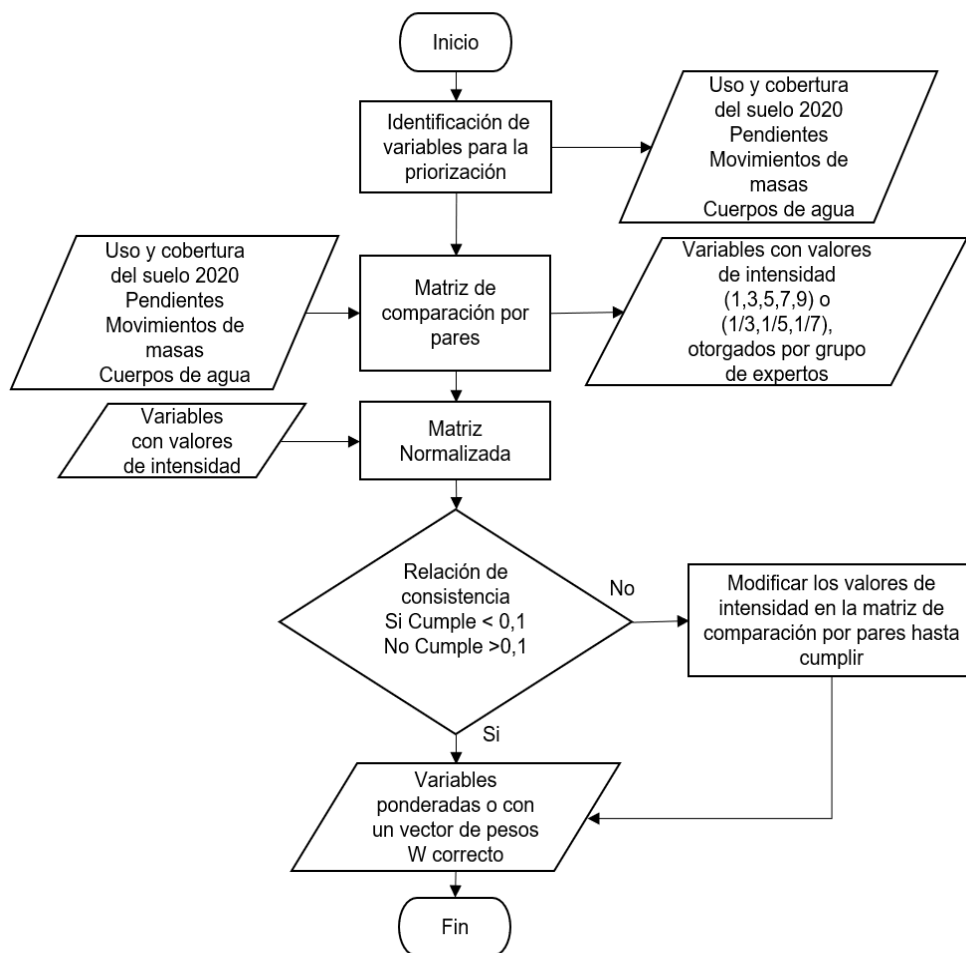
El apoyo que se recibió de los técnicos de MAAE fue incondicional, pues las varias consultas que se hizo (ver Anexo 14), a lo largo de los meses que duro el proyecto, sobre el análisis multicriterio y su aplicación en SIG, siempre fueron bien recibidas, validando el proceso y aportando con conocimientos; también se destaca la participación de los docentes de la UCACUE, en lo antes mencionado, ya que encabezados por el Ing. Solano (tutor de este proyecto), se fue construyendo el método AHP y realizando las consideraciones pertinentes para poder emplearlo.

Una vez armado el modelo AHP, se asignó valores a las variables (uso y cobertura del suelo 2020, pendientes, cuerpos de agua y movimientos de masas) que conformaban la matriz de ponderación por pares, en la cual para completar se utilizó la escala de valores de Saaty. Para realizar esto, por motivos de la pandemia de COVID-19, se procedió a consultar, mediante una reunión por la plataforma ZOOM (ver Anexo 15), el criterio del grupo de expertos, conformado por técnicos del Programa de Reparación Ambiental y Social del MAAE (Ing. Santiago Negrete

e Ing. Diego Villacrés) y 3 docentes de la Universidad Católica de Cuenca entre los cuales destaca la participación del Ing. José Solano. Los valores que le dieron a cada elemento en esta matriz fueron consensuados, basados en la experiencia y competencias que tenían cada uno de los expertos. Los datos consensuados que se le dieron a cada variable fueron normalizados y como resultado de esto se obtuvo el vector de prioridad, éste a su vez sirvió para constatar la consistencia de valores entre sí, y la jerarquización de variables.

En el Gráfico 1, se muestran los procesos realizados para obtener las ponderaciones de las variables (uso y cobertura del suelo 2020, pendientes, cuerpos de agua y movimientos de masas), que fueron utilizadas para efectuar el modelo multicriterio en SIG.

Gráfico 1: Flujograma del análisis multicriterio



Elaborado por: Autor, 2021.

4.4.3 Procesamiento en SIG.

El procesamiento de la información en el programa ArcGIS 10.5 se lo realizó después de haber obtenido las ponderaciones de las variables de uso y cobertura del suelo 2020, pendientes, cuerpos de agua y movimientos de masas. Todas estas capas se las transformó a formato ráster, con un ancho de celda de un metro y se clasificaron en dos categorías todas las variables, asignándoles valores nominales con los valores de 1 y 2 (Tabla 10) (Arias, 2018).

Tabla 10: Escala de priorización

Pesos	Prioridad	Valor
	Alta	2
	Baja	1

Elaborado por: Autor, 2021.

En la Tabla 11, se presentan los valores nominales asignados a cada variable, estas a su vez obtuvieron el valor de 1 para las zonas con una baja prioridad de restauración y el valor de 2 para zonas con una alta prioridad de restauración. Al momento de realizar la clasificación se tuvo en cuenta varios criterios, para la variable de uso y cobertura de suelo, se consideró que las áreas que estaban conservadas, en proceso de regeneración natural y con impactos leves, se les asignó el valor de 1 y para las áreas en las cuales se desarrollaron actividades antrópicas con impactos graves o se evidenciaron pasivos ambientales, se le asignó el valor de 2; las pendientes que según la Norma para el Manejo Sustentable de los Bosques Andinos (2006) estén por encima del 100% (45°) de inclinación, serán destinadas para conservación y regeneración, se les asignó el valor de 2 y las que estén por debajo de ese valor, se les dio el valor de 1; las amenazas por movimientos de masas que están clasificadas como nulas, bajas o medias, se les asignó el valor de 1, ya que tienen leves probabilidades de que suceda un evento de deslizamiento, y las amenazas altas y muy altas se les dio el valor de 2; el área que está fuera de la zona de conservación para los cuerpos de agua se le asignó el valor de 1 y las áreas que conforman los 20 metros de la zona de conservación según la Norma para el Manejo de Bosques Andinos (2006), el valor de 2.

Tabla 11: Clasificación de variables por valor nominal

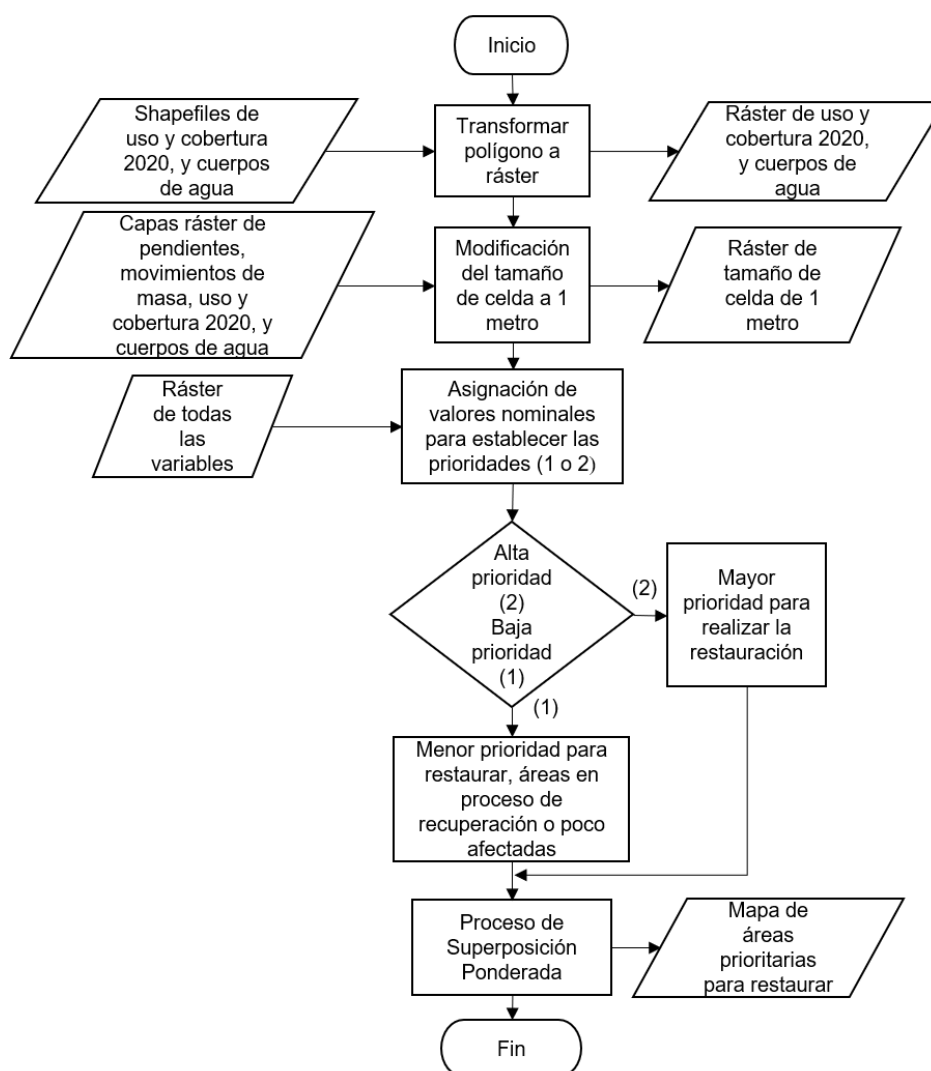
Variable	Valor asignado
Uso y cobertura del suelo 2020	1=Parches de bosque nativo, vegetación arbustiva y herbácea nativa, infraestructura y cuerpo de agua natural. 2=Área poblada, áreas sin cobertura vegetal, plantación forestal y pastizal.
Pendientes	1= 0 - 100% (45°) 2= Mayores a 100% (45°)
Amenaza por movimiento de masas	1= Nula, baja y media 2= Alta y muy alta.
Cuerpos de agua	1= Fuera de la zona de conservación 2= Dentro de la zona de conservación

Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (Arias, 2018).

Luego se procedió a utilizar la herramienta *Weighted Overlay* que efectuó la superposición ponderada permitiendo cargar las ponderaciones transformadas en porcentajes y las variables categorizadas en valores nominales, para finalmente obtener las áreas prioritarias.

En el Gráfico 2, se muestran los procesos realizados para conformar el modelo multicriterio en SIG.

Gráfico 2: Flujograma del procedimiento realizado en SIG



Elaborado por: Autor, 2021.

Después de obtener el mapa de áreas prioritarias se realizó el proceso de validación mediante una inspección en campo con los técnicos del Programa de Reparación Ambiental y Social del MAAE, en donde se tomaron coordenadas de las áreas con procesos erosivos, pastizales, plantaciones forestales, infraestructuras antrópicas, vegetación arbustiva y herbácea, y bosque nativo, luego se cargaron en el SIG y esos puntos se superpusieron en el mapa de áreas prioritarias, determinando de esta manera que puntos caen dentro de las áreas con alta y baja prioridad, y obteniendo por medio de esto la validación del mapa.

4.4.4 Propuesta de Restauración Ecológica.

Para realizar un proceso de restauración es necesario tener en cuenta que no se ha desarrollado una fórmula ganadora la cual utilizar de manera generalizada, debido a que cada ecosistema tiene condiciones únicas y específicas. Existen recomendaciones que se pueden seguir, pues han sido generadas a través del tiempo por experiencias en otros proyectos de restauración, de tal forma que fueron adaptadas a este estudio (Vargas, 2011).

Al tener una zona degradada por la agricultura y ganadería, es evidente que es necesario efectuar un proyecto de restauración ecológica debido a los posibles costos ambientales y económicos que causará, aunque es difícil, pero no imposible (Aguirre y Torres, 2014). Antes de proceder con las actividades de rehabilitación, el estudio necesitó ser planificado de manera minuciosa y metódica con el afán de lograr la recuperación del ecosistema (Society for Ecological Restoration (SER) International, 2004).

Para comenzar, es importante delinear las estrategias de restauración para incluirlas dentro de la propuesta de restauración ecológica, diseñando las metas que guiarán este proyecto a largo de su planeación (Aguirre y Torres, 2014). Este estudio se basó en la guía metodológica sobre restauración ecológica que propone Vargas (2007), en lo que concierne a desarrollar una propuesta de restauración para el cerro Mishquiyacu, para lo cual se adaptó y modificó a conveniencia los pasos indicados por éste autor. Estos pasos generales no necesariamente deben ser aplicados y seguidos en el mismo orden por la razón de que cada zona tiene distintos objetivos, grado de afectación y escala (Vargas, 2011).

En este proyecto se realizaron dos propuestas, las cuales se diferencian por el tipo de restauración, ya que para las áreas con una baja prioridad de intervención se propone una restauración pasiva, en cambio, para las áreas con una alta prioridad de intervención se desarrolló una restauración activa.

A continuación se explican los pasos que se desarrollaron para obtener la propuesta de restauración ecológica en el cerro Mishquiyacu, basados y adaptados para nuestro caso de estudio a partir de lo presentado por Vargas (2007), siendo los siguientes:

1. Seleccionar el ecosistema de referencia.

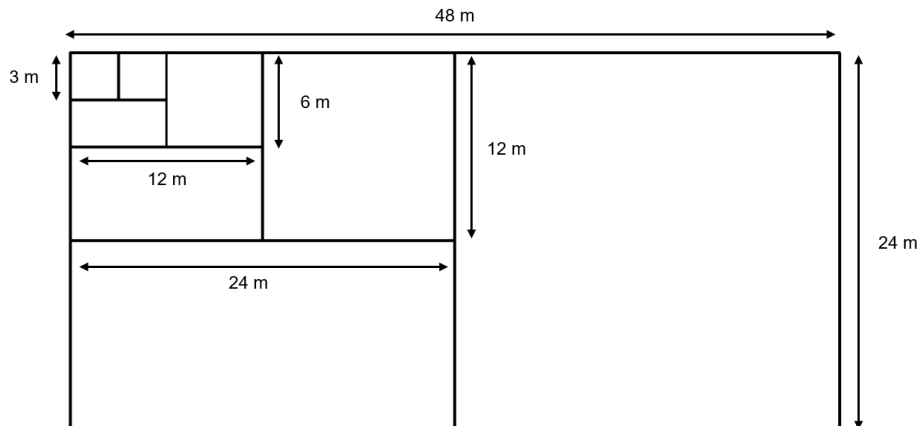
Se hizo un recorrido por el área de estudio, en el cual se buscó relictos o parches de coberturas vegetales nativas, considerando que se encuentren en buen estado y de preferencia sean bosques primarios, los cuales servirán de imagen objetivo, indicando el rumbo de la posible trayectoria por la cual se desea direccionar la restauración.

Una vez encontrado el parche se procedió a inventariar sus especies para establecer su composición. Para lo que se realizó un registro de especies, adaptando la metodología propuesta por González, Ferro, Rodríguez y Berazaín (2017), en la cual se expone el método de área mínima, que relaciona el área muestreada con la riqueza de especies, en donde se parte de una unidad muestral pequeña y se identifica las especies presentes en la misma, después se duplica el área, teniendo en cuenta las dimensiones de la parcela anterior y se identifican solamente las especies nuevas, realizando esta acción hasta que se deje de encontrar nuevas especies y su riqueza permanezca constante.

El cuadrante inicial que se realizó contaba con una extensión de 3 metros de largo por 3 metros de ancho, duplicándolo hasta obtener un cuadrante final de 48 metros de largo por 24 metros de ancho (ver Gráfico 3). Considerando árboles a todos los individuos que tenían un DAP superior a 10 cm, mientras que para arbustos se consideró el DAP desde los 2.5 hasta los 10 cm. El área muestreada total fue de 1152 m², la misma que está por encima del área mínima que debe ser muestreada para este tipo de casos, que es de 1000 m², propuesta por Gentry (1988).

Algunas muestras de las especies vegetales fueron recolectadas en campo y etiquetadas para su posterior reconocimiento taxonómico, empleando fuentes que proveen bibliografía en la web como: a) Base de datos del Jardín Botánico de Missouri mediante el buscador “Trópicos” (www.tropicos.org); b) Base de datos del Herbario del Azuay (www.herbario.uazuay.edu.ec); y c) Base de datos del Jardín Botánico de New York (www.nybg.org), para recopilar información concerniente al nombre científico, hábito, forma de vida y categoría según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).

Gráfico 3: Representación de cuadrantes realizados por área mínima en el ecosistema de referencia



Elaborado por: Autor, 2021.

En cuanto al estado de conservación de las especies según la lista roja internacional de la UICN, se recopilaron los datos disponibles en cuanto a su situación, los cuales exponían diferentes niveles de clasificación (ver Tabla 12).

Tabla 12: Niveles de clasificación del estado de conservación de las especies

Estado de conservación	Abreviatura por sus siglas en ingles
Datos insuficientes	DD
Desconocido	U
Preocupación menor	LC
Casi en Peligro	NT
Vulnerable	VU
En Peligro	EN
En Peligro Crítico	CR
Extinto en la Vida Silvestre	EW
Extinto	EX

Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (Loyola, 2019).

2. Evaluación del estado actual.

Se estableció que problemas está atravesando el ecosistema mediante un diagnóstico de la zona con recorridos in situ, levantamiento de biodiversidad, cartografía digital, entre otros. Para determinar esto se identificaron los factores tensionantes que pueden estar causando su degradación y las amenazas que estos representan, los cuales se explicaron y documentaron por medio de fotografías tomadas en campo.

3. Definir escalas y niveles de organización.

Se definieron los objetivos de la restauración ecológica, los cuales tienen relación directa con la escala y nivel de análisis. Este estudio se realizó a escala local y a nivel de paisaje, el cual se recomienda establecer porque apunta a la recuperación de las funciones del ecosistema.

4. Establecer escalas y niveles del disturbio.

Se identificaron los disturbios que no permiten la sucesión natural y asistida en el cerro Mishquiyacu, para lo cual se evaluó el régimen de disturbio, adaptando la matriz de caracterización de los disturbios expresados en la Tabla 13, los que se tomaron de Aguirre y Torres (2014).

Tabla 13: Parámetros para la caracterización de un disturbio

Parámetro	Clasificación	Valoración
Por su factor de origen	Natural	-
	Antrópico	-
	Natural y Antrópica	-
Por la dimensión espacial	Grandes	Mayor a 10 ha.
	Medianos	Entre 1 y 10 ha.
	Pequeños	Menor a 1 ha.
Por su magnitud	Graves	Fuerte intensidad o severidad del disturbio. Ej. Minería a cielo abierto.
	Medianos	Moderada intensidad o severidad del disturbio. Ej. Incendio forestal.
	Leves	Baja intensidad o severidad del disturbio. Ej. Cacería.
Por la dimensión temporal	Frecuentes	Si ocurren muchas veces dentro del lapso de vida de las especies menos longevas.
	Recurrentes	Como fuegos, inundaciones, eventos climáticos extremos y ataque de plagas.
	Continuos	En ecosistemas que no han evolucionado con esta perturbación como parte de su dinámica. Ej. Pastoreo intensivo.
	Raros	Si ocurren en un tiempo menor al lapso de vida de las especies más longevas.

Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (Aguirre y Torres, 2014).

5. Establecer las barreras a la restauración.

Se identificaron las barreras que limitan, desvían e impiden al ecosistema regenerarse, ocasionado por los diferentes tipos de disturbio, clasificadas en dos tipos: las ecológicas y las socioeconómicas. Por un lado, tenemos las barreras ecológicas, diferenciándolas entre factores bióticos y abióticos, los cuales fueron producto del régimen de disturbios: natural y antrópico. Por otra parte, están las barreras socioeconómicas, las cuales impiden la regeneración natural ligada a los cambios de uso de suelo, relacionadas con elementos políticos, económicos y sociales.

6. Zonificación de los sitios a restaurar.

Se zonificaron las áreas con una alta prioridad a restaurar, obtenidas del modelo AHP/SIG. Se las caracterizó en tres zonas, considerando los criterios de pendientes, y uso y cobertura del suelo. Se utilizó el programa ArcGIS 10.5 para procesar los datos, partiendo del mapa de pendientes utilizado en la línea base, se reclasificó a las pendientes de acuerdo a los conceptos establecidos por SNGR (2011) que utilizó para el mapa de amenaza por movimientos de masas. Esté establecía parámetros que relacionaban a las pendientes con la probabilidad de que ocurran deslizamientos de tierras (ver Tabla 14).

Luego con el resultado de esta reclasificación de pendientes se intersecó con el shapefile de uso y cobertura del suelo de las áreas con alta prioridad. Una vez hecho esto se dirigió a la tabla de atributos y por medio de la herramienta *Select by attributes*, se seleccionó los tres diferentes tipos de pendientes y de manera simultánea las coberturas que caían dentro de cada uno.

Esto se efectuó con el fin de obtener la zona 1, zona 2 y la zona 3, las cuales nos guiaron para abordar cada área de manera diferente y proponer estrategias de restauración, ya que no es lo mismo restaurar zonas con una pendiente mayor a 50% y que no tengan cobertura vegetal, a zonas con una pendiente de entre 30 a 50 % y que su cobertura sea un pastizal. Además, se tuvo algunas consideraciones especiales que se pueden verificar en la Tabla 15.

Tabla 14: Clasificación de las pendientes según la amenaza por movimientos de masas

Amenaza por movimientos de masas	Pendientes	Descripción
Nula		Espacio geográfico con características estables
Baja	0 - 30 %	Zonas con suelos, pendientes y geología estables aun ante fenómenos intensos y extensos como precipitaciones
Media	30 - 50 %	Zonas con materiales poco o nada fracturados. El material se inestabiliza tras actuaciones naturales muy intensas o extensas, así como a la acción de la precipitación de la zona.
Alta		En suelos poco cohesivos y en rocas meteorizadas, fracturadas o de otro tipo de discontinuidad, acelerado por precipitaciones.
Muy alta	> 50 %	En suelos no consolidados y rocas muy meteorizadas y fracturadas, acelerado por factores climáticos, sismo tectónicos y antrópicos.

Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (SNGR, 2011)

Tabla 15: Consideraciones para cada zonificación.

Zonificación	Consideración
Zona 1	En esta zona se tomaron en cuenta las coberturas en las cuales se identifiquen problemas ambientales como pastizales y áreas sin cobertura vegetal. Además de que tengan los porcentajes de inclinación de pendientes mayores a 50 %.
Zona 2	Coberturas con problemas ambientales como pastizales y áreas sin cobertura vegetal. Además de que tengan los porcentajes de inclinación de pendientes entre los 30 a 50%.
Zona 3	En esta zona se agregaron las plantaciones forestales debido a que tendrán un manejo diferente y menos urgente a la hora de restaurarlas, pero no menos importante. Además de las coberturas como pastizales y áreas sin cobertura vegetal que estén en rangos de pendientes entre 0 a 30 %.

Elaborado por: Autor, 2021.

7. Participación ciudadana.

La participación de la gente es de vital importancia para el éxito de los procesos de restauración ecológica. Por este motivo se recomendaron algunos lineamientos para que el proyecto de restauración consiga el apoyo de la comunidad, basados en lo propuesto por Vargas (2007).

8. Diseño de estrategias para superar las barreras de restauración.

Luego de conocer qué clase de disturbios sufre el cerro Mishquiyacu se procedió a proponer las técnicas que servirán para alcanzar los objetivos de restauración establecidos. Se establecieron medidas dirigidas a atenuar o suprimir los factores que provocan la degradación ecosistémica. Además de restablecer las condiciones hidrológicas, edáficas y micro climáticas mediante la reintroducción de especies nativas.

A partir de los objetivos de la restauración y del estado de sucesión actual, se seleccionaron las especies vegetales y la manera en que conformaran las fases que trataran de imitar una sucesión natural. Los criterios de selección fueron los siguientes:

- a) Deben ser especies nativas que favorezcan la regeneración y conservación del recurso hídrico y suelo.
- b) La presencia de la especie en la zona de estudio debe ser importante
- c) Se debe tomar en cuenta el nivel de sucesión ecológica de las áreas a restaurar.
- d) La especie seleccionada de preferencia encontrarse en el ecosistema de referencia o ecosistemas con las mismas características y rangos de altitud, ya que tendrán una mejor adaptación y desarrollo.
- e) Se deben seleccionar especies pioneras del componente leñoso debido a que estas iniciaran la sucesión. Estas especies tendrán características como elevada adaptación y rápido crecimiento.

Las fuentes de información que principalmente fueron utilizadas para conocer las utilidades y características de cada especie vegetal fueron: la Guía de Flora del Bosque Protector Aguarongo (Loyola, 2019), la Enciclopedia de Plantas Útiles del Ecuador (De la Torre, Navarrete, Muriel, Macía y Balslev, 2008), la Base

de Datos del Herbario Azuay, el Catálogo de Plantas y Líquenes de Colombia (Bernal, Gradstein y Celis, 2016), el Libro de Pastos y Forrajes del Ecuador (León, Bonifaz y Gutiérrez, 2018), el Libro de Especies Forestales Arbóreas y Arbustivas de los Bosques Montanos del Ecuador (MAE y FAO, 2015), la Base de Datos del Jardín Botánico de Missouri (Missouri Botanical Garden, 2021), el Libro de Árboles y Arbustos de Cuenca (Minga y Verdugo, 2016), las Fichas de Aplicación de la Vegetación Nativa de Cuenca (Carrión y Mosquera, 2018) y la Base de Datos del Jardín Botánico Real de Kew (Royal Botanic Gardens Kew, 2021).

Además, se calculó el número de individuos arbóreos que serán necesarios para la reforestación utilizando la fórmula del método tresbolillo (5) expuesto por Gonzalez y Vargas (1991) en donde N es el número de plantas, AT es el área total del sitio a restaurar, d es la distancia entre plantas y como constante tenemos a 1,154 la cual se multiplica por el producto de la división entre AT y d.

$$N = \frac{AT}{d^2} \times 1,154 \quad (5)$$

Luego se desarrollaron varias recomendaciones para propagar con mayor facilidad las semillas, plántulas o rebrotes que serán utilizados en la reforestación de la zona de estudio y se propusieron alternativas para el manejo de las cárcavas, taludes con pendientes fuertes y las plantaciones forestales.

CAPÍTULO IV

5. RESULTADOS

5.1 Diagnóstico del Cerro Mishquiyacu

Para conocer la prospectiva de la zona se realizó el diagnóstico del cerro Mishquiyacu, la cual cuenta con factores: climáticos, geológicos, biológicos, históricos y de riesgo. Esto permitió tener una visión más amplia sobre el área de estudio ya que en las siguientes fases ayudó a tomar decisiones acertadas.

5.1.1 Precipitaciones.

El cerro Mishquiyacu al no tener un área con la suficiente distribución espacial como para que las precipitaciones en su interior varíen, se ha realizado un análisis con valores a nivel cantonal para efectuar una comparativa con la zona de estudio y poder analizar la variación de las precipitaciones.

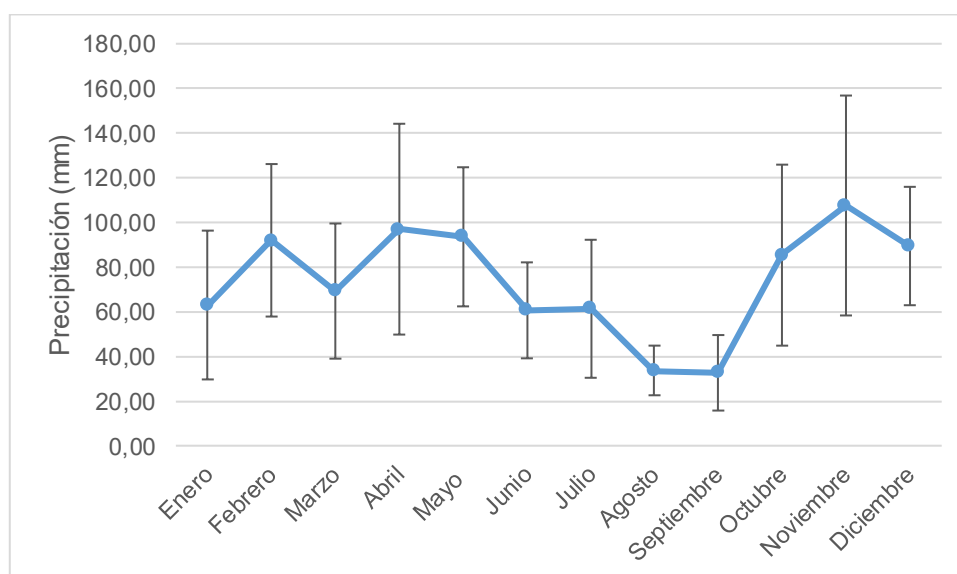
El cantón Paute cuenta con una precipitación media de 790 mm y con una humedad relativa del 83% anual (GADM Paute, 2014), en donde la época de estiaje o bajas precipitaciones va desde junio a septiembre, éste último siendo el mes más seco con 32,65 mm y con una variación de la precipitación con respecto a la media de 16,9 mm. Por otro lado, los meses en los cuales las precipitaciones aumentan y tienen valores más altos, están entre octubre y mayo, siendo el mes en el que más llueve noviembre con 107,57 mm y con una variación de la precipitación con respecto a la media de 49,24 mm (ver Tabla 16 y Gráfico 4).

Tabla 16: Precipitación media mensual del cantón Paute

Mes	Precipitación media (mm)	Variación (mm)
Enero	63	33,32
Febrero	91,98	34,14
Marzo	69,25	30,26
Abril	96,97	47,20
Mayo	93,55	31,14
Junio	60,62	21,49
Julio	61,32	30,9
Agosto	33,7	11,12
Septiembre	32,65	16,9
Octubre	85,33	40,53
Noviembre	107,57	49,24
Diciembre	89,42	26,51

Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (INAMHI, 2015).

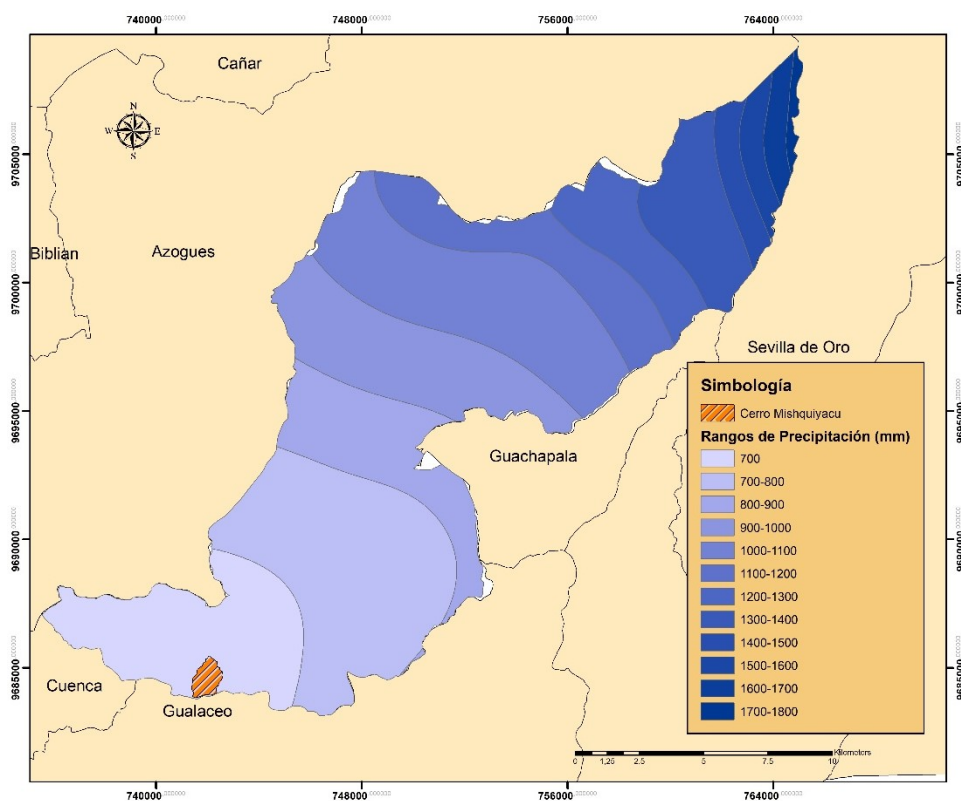
Gráfico 4: Precipitación media mensual del cantón Paute



Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (INAMHI, 2015)

Las precipitaciones en el cantón Paute varían entre 700 a 1800 mm anuales, la parte más seca está en la parroquia de San Cristóbal con 700 a 800 mm anuales y la parroquia en la que las precipitaciones son más elevadas es Guarainag con 1400 a 1800 mm anuales. El cerro Mishqiyacu está ubicado al sur del cantón Paute, en la zona con menores precipitaciones, teniendo un promedio anual de 750 mm (ver Figura 2).

Figura 2: Mapa de isoyetas



Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (IEE, 2018).

5.1.2 Temperatura.

En el cantón Paute predomina el clima templado, en las zonas con menor altitud, en la parte oriental el clima subtropical y en las partes altas el clima frío, compuestas por páramo en su mayoría. La temperatura media anual es de 17,35°C, únicamente en el verano existe una diferencia muy marcada pudiendo llegar a una máxima de 22°C en el día y -2°C en la noche (GADM Paute, 2014).

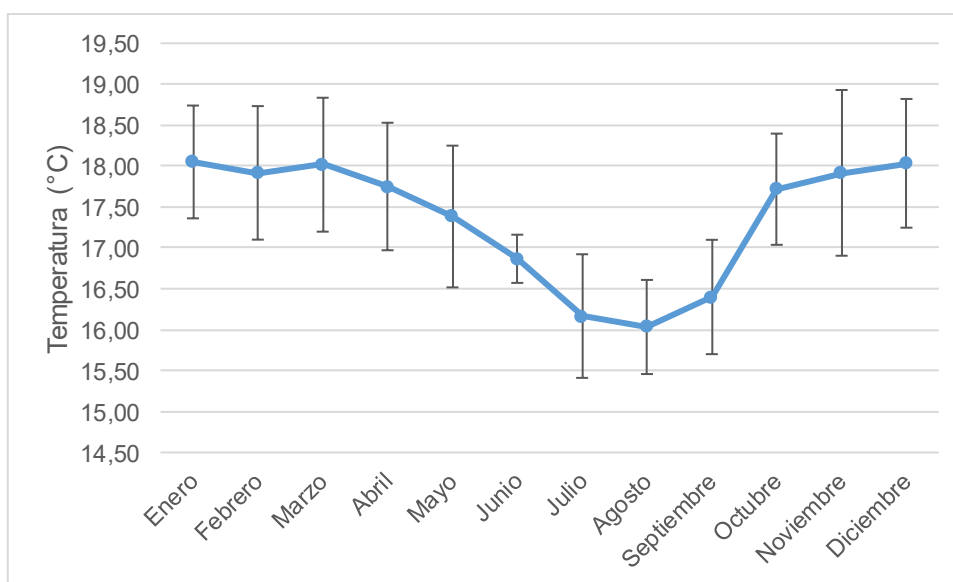
Las temperaturas medias mensuales en el cantón Paute tienen una mayor variación en el mes de noviembre con un dato de 1,01°C con respecto a la media y su menor variación en el mes de junio con 0,29°C. Enero es el mes que alcanza una temperatura media más elevada con 18,05°C, por el contrario, el mes con la menor temperatura media es agosto con 16,03°C. Las menores temperaturas se registran entre los meses de mayo a septiembre, en cambio las mayores temperaturas se muestran entre los meses de octubre a abril (ver Tabla 17 y Gráfico 5).

Tabla 17: Temperatura media mensual del cantón Paute

Mes	Temperatura media (°C)	Variación (°C)
Enero	18,05	0,69
Febrero	17,92	0,82
Marzo	18,02	0,82
Abril	17,75	0,78
Mayo	17,38	0,87
Junio	16,87	0,29
Julio	16,17	0,76
Agosto	16,03	0,58
Septiembre	16,40	0,70
Octubre	17,72	0,68
Noviembre	17,92	1,01
Diciembre	18,03	0,79

Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (INAMHI, 2015)

Gráfico 5: Temperatura media mensual del cantón Paute



Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (INAMHI, 2015).

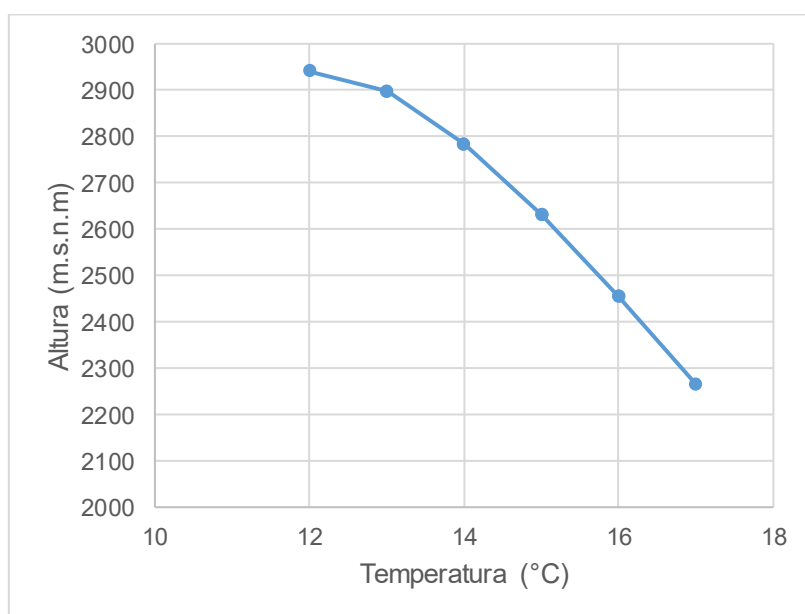
La temperatura media anual en el cerro Mishquiyacu es de 14,5 °C. Existe una variación de las temperaturas debido a la diferencia altitudinal, que pueden ir desde los 16,5 °C en la zona baja, que está entre las cotas 2265 a 2455 m.s.n.m y en la zona alta que está entre los 2897 a 2940 m.s.n.m, una temperatura promedio de 12,5 °C (ver Tabla 18 y Gráfico 6). La fluctuación de la temperatura entre la parte alta y la baja es de 5 °C, esto se debe a que entre la cota alta y baja existe 675 metros de diferencia.

Tabla 18: Variación de temperatura con respecto a la altura

Rango de alturas (m.s.n.m)		Temperatura media anual (°C)
2 265	2 455	16,5
2 455	2 631	15,5
2 631	2 783	14,5
2 783	2 897	13,5
2 897	2 940	12,5

Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (IEE, 2018).

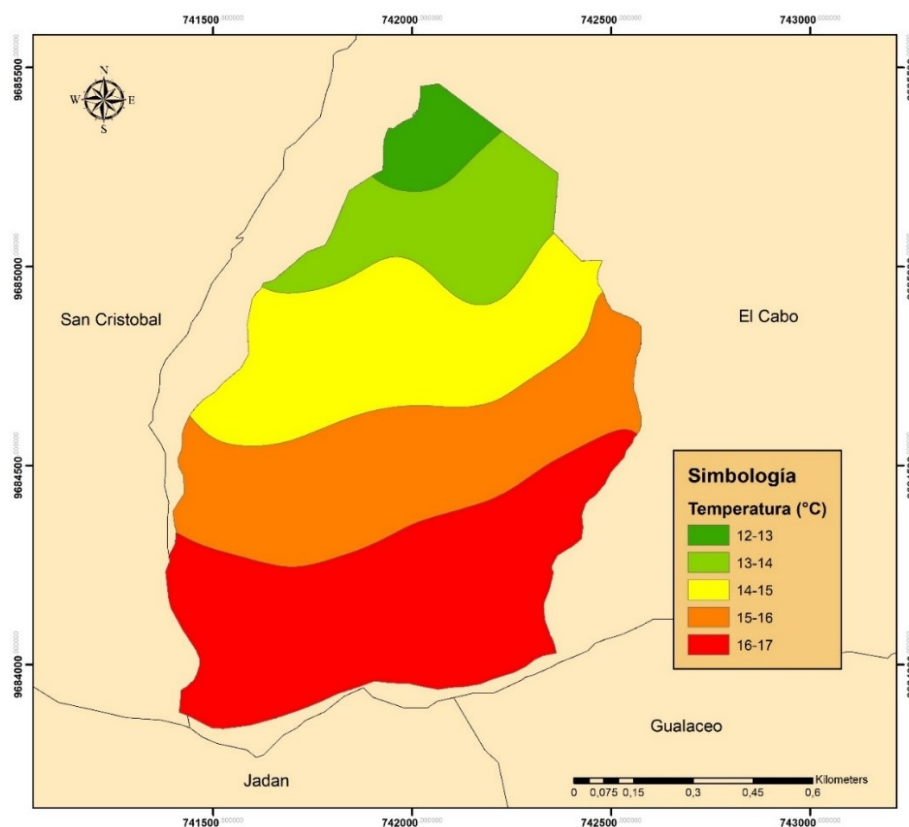
Gráfico 6: Variación de temperatura con respecto a la altura



Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (IEE, 2018).

En la Figura 3, podemos observar la variación de la temperatura anual en el cerro Mishqiyacu, con valores entre los 12 °C y 17 °C en donde se aprecia una disminución de la temperatura conforme la elevación aumenta. En los pisos altitudinales se evidencian diferentes temperaturas que están representadas por varias tonalidades, como las de color verde oscuro con 12 °C a 13 °C, el verde claro con 13 °C y 14 °C, las de color amarillo con 14 °C y 15 °C, las de color naranja con 15 °C y 16 °C y las de color rojo con 16 °C y 17 °C.

Figura 3: Mapa de isotermas



Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (IEE, 2018).

5.1.3 Uso y cobertura del Suelo 2020.

El uso y cobertura del suelo en el cerro Mishquiyacu del año 2020 denota una variación importante del área entre los ecosistemas naturales y las actividades antropogénicas que se han desarrollado en éste. En la Tabla 19, se aprecia que el bosque nativo y la vegetación arbustiva y herbácea ocupan la mayor parte del cerro con 43,82 ha y 64,95 ha respectivamente. En cambio, las zonas en la que ha existido intervención humana como lo son el área poblada (0,27 ha), área sin cobertura vegetal (3,45 ha), infraestructura (1,79 ha), pastizal (7,6 ha) y plantación forestal (2,43 ha), ocupan un área menor, pero con valores a considerar pues en todos existe alteraciones en el ambiente.

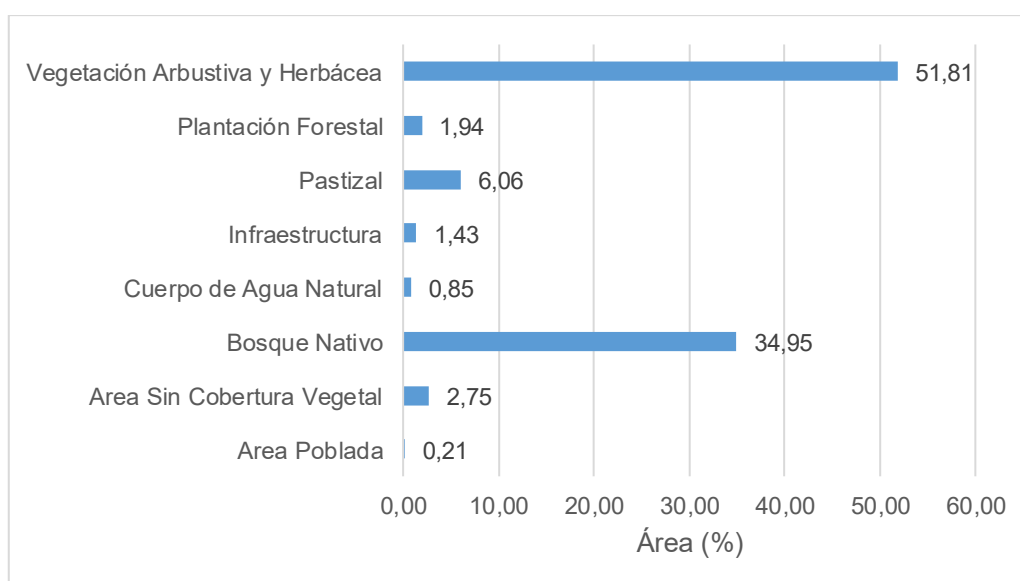
Tabla 19: Uso y cobertura del suelo 2020

Uso y cobertura de suelo 2020	Área (ha)	%
Área Poblada	0,27	0,21
Área Sin Cobertura Vegetal	3,45	2,75
Bosque Nativo	43,82	34,95
Cuerpo de Agua Natural	1,06	0,85
Infraestructura	1,79	1,43
Pastizal	7,60	6,06
Plantación Forestal	2,43	1,94
Vegetación Arbustiva y Herbácea	64,95	51,81
Total	125,47	100,00

Elaborado por: Autor, 2021.

En el Gráfico 7, se observa el uso y cobertura del suelo en valores porcentuales, en el cual se aprecia claramente que la vegetación arbustiva y herbácea con el 51,81 % es la cobertura que más área ocupa en el cerro Mishquiyacu, seguido del bosque nativo con 34,95 %. Por otro lado, las coberturas provocadas por intervenciones humanas que más espacio ocupan son los pastizales y el área sin cobertura vegetal con un 6,06 % y 2,75 % respectivamente. El área poblada representa un 0,21 % del territorio total del cerro, siendo la cobertura con menor tamaño.

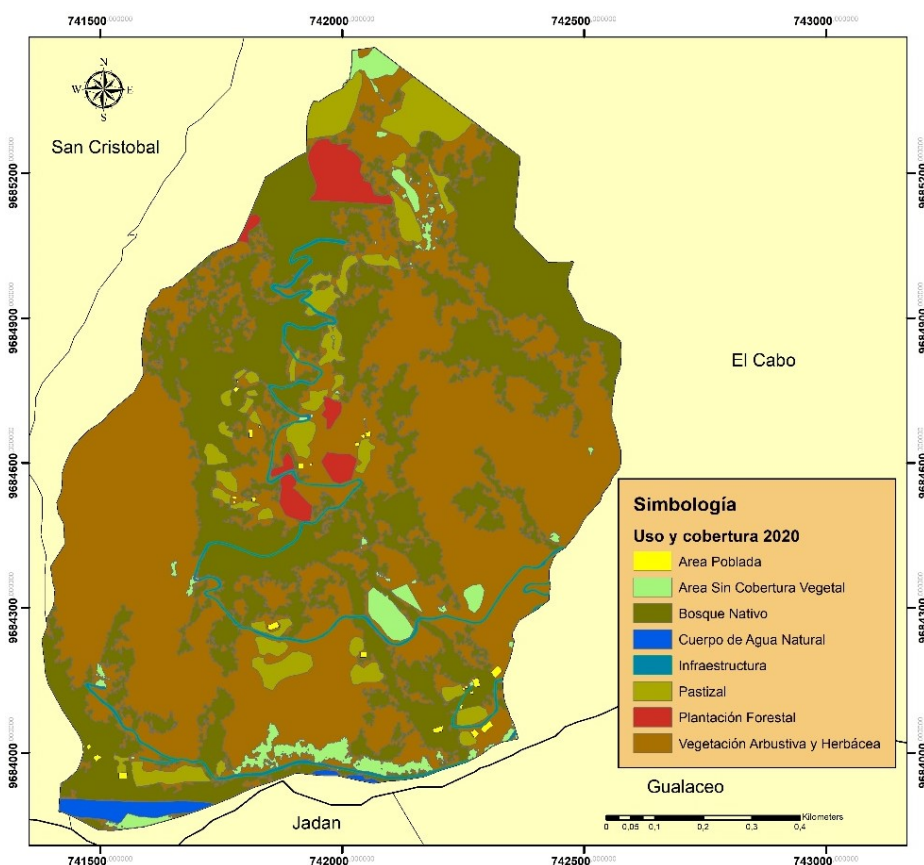
Gráfico 7: Uso y cobertura del suelo 2020



Elaborado por: Autor, 2021.

En la Figura 4, se muestra el mapa de uso y cobertura del suelo, en el cual se puede diferenciar las diferentes coberturas y usos, al mismo tiempo que su distribución en el cerro Mishquiyacu. Las áreas pobladas que componen un 0,21% del territorio, se pueden apreciar que en su mayoría se ubican en la región central y en la zona sur-este del cerro. En cambio, gran parte de la vegetación arbustiva y herbácea ocupa un 51,81% de territorio, posee la mayor extensión, en las zonas laterales del cerro. Por otro lado, los bosques nativos que cubren un 34,95 %, están caracterizados por tener especies vegetales arbóreas como el Gañal (*Oreocallis grandiflora*), Podocarpus (*Podocarpus sprucei*), Ferrugínea (*Hesperomeles Ferruginea*) y Aliso (*Alnus acuminata*) principalmente.

Figura 4: Mapa de uso y cobertura del suelo 2020



Elaborado por: Autor, 2021.

5.1.4 Cuerpos de Agua.

Los cuerpos de agua en el cerro Mishquiyacu están compuestos por quebradas, las cuales son afluentes del río Paute, desembocando sus aguas directamente en él. La mayoría de las quebradas no tienen un flujo constante de agua durante gran parte del año, en la Tabla 20, se observa que las quebradas de

Juacte, Chilcapugro y Chicticay son efímeras. Por otro lado, la quebrada Socayacu es de tipo intermitente, ya que puede contener agua si el nivel freático no desciende por debajo del fondo del cauce. En cambio, la quebrada Mishquiyacu es perenne debido a que contiene agua durante todo el año, con un flujo pequeño pero constante. Las quebradas que más longitud tienen dentro del cerro son la de Juacte y Mishquiyacu con 830,59 metros y 730,19 metros respectivamente y por el contrario la quebrada más pequeña es la de Chilcapugro con 319,88 metros.

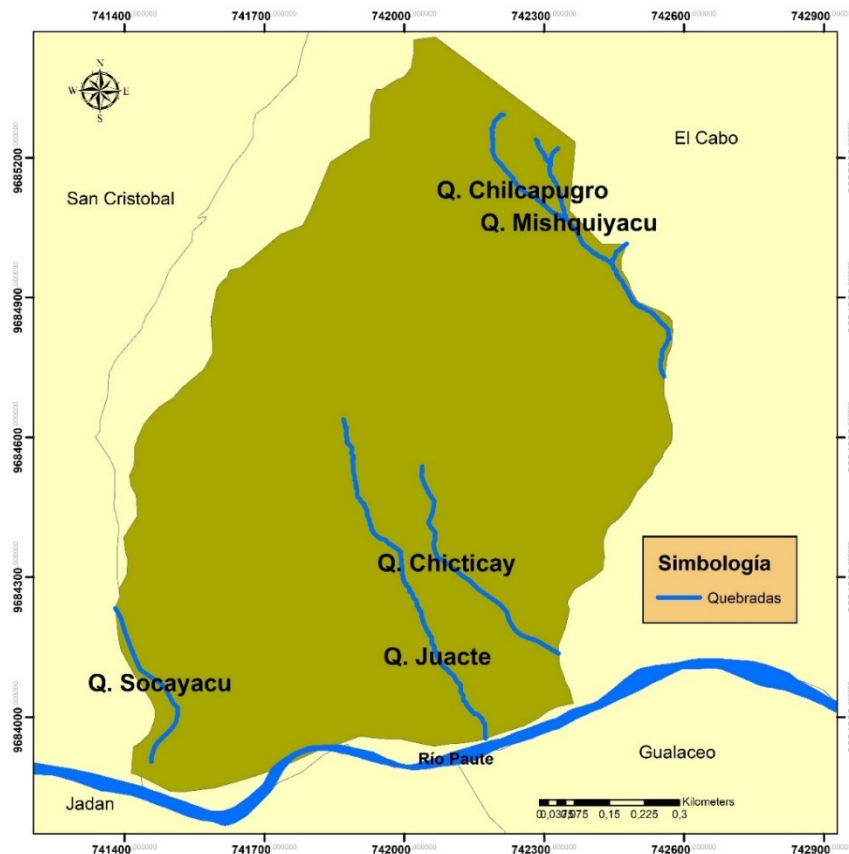
Tabla 20: Cuerpos de agua del cerro Mishquiyacu

Quebrada	Longitud (m)	Tipo
Socayacu	395,47	Intermitente
Juacte	830,59	Efímera
Chicticay	550,74	Efímera
Chilcapugro	319,88	Efímera
Mishquiyacu	730,19	Perenne

Elaborado por: Autor, 2021.

En la Figura 5, se observa la distribución de las diferentes quebradas que componen los cuerpos de agua del cerro Mishquiyacu. Las quebradas que pasan por los flancos del cerro se llaman Socayacu y Mishquiyacu, estas a su vez, cruzan por el cerro parcialmente. En el interior del área de estudio se encuentran las quebradas de Juacte y Chicticay que nacen de los flujos superficiales del centro del cerro.

Figura 5: Mapa de cuerpos de agua



Elaborado por: Autor, 2021.

5.1.5 Geología.

El Mishquiyacu está compuesto por varias formaciones geológicas, como se puede apreciar en la Tabla 21, compuestas por la formación Tarqui con una superficie de 11,56 ha, unidad Alao Paute con 63,78 ha, siendo la que mayor extensión alcanza, los depósitos coluviales con 47,2 ha y los depósitos aluviales con 2,87 ha; estos pertenecen a los periodos cuaternario, mioceno y jurásico.

En la Tabla 21, en cuanto a la litología, se puede observar que la formación Tarqui está conformada por tobas y aglomerados con bajo porcentaje de lava; la unidad Alao Paute con Metavulcanitas con débil metamorfismo, lavas masivas y filitas verdes, esquistos verdes, cuarcitas y mármoles; depósitos coluviales con una mezcla heterogénea de materiales finos y fragmentos angulares rocosos de muy diverso tamaño; y depósitos aluviales con arenas, limos, arcillas y conglomerados.

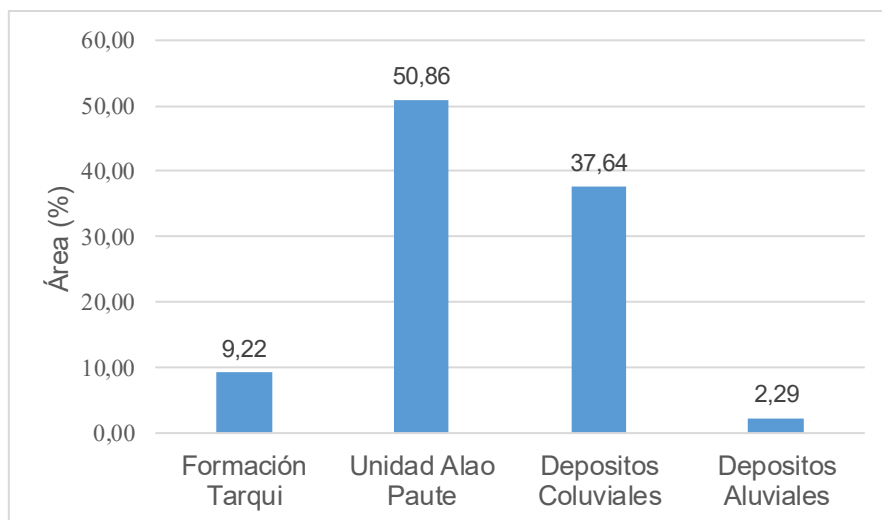
Tabla 21: Formaciones geológicas del cerro Mishquiyacu

Formaciones Geológicas	Área (ha)	%	Periodo	Litología
Formación Tarqui	11,56	9,22	Mioceno	Tobas y aglomerados (dacíticos, riolíticos y andesíticos) caolinizados, con bajo porcentaje de lava
Unidad Alao Paute	63,78	50,86	Jurásico	Metavulcanitas con débil metamorfismo, lavas masivas y filitas verdes, esquistos verdes, cuarcitas y mármoles
Depósitos Coluviales	47,2	37,64	Cuaternario	Mezcla heterogénea de materiales finos y fragmentos angulares rocosos de muy diverso tamaño
Depósitos Aluviales	2,87	2,29	Cuaternario	Arenas, limos, arcillas y conglomerados
Total	125,47	100		

Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (MAGAP y SIGTIERRAS, 2015)

En el Gráfico 8, se muestra de manera porcentual la superficie que ocupan las formaciones geológicas dentro del cerro Mishquiyacu, en donde la unidad Alao Paute es la que más área tiene con un 50,86 % del territorio. Por el contrario, los depósitos aluviales contemplan solo un 2,29% del área, siendo la formación más pequeña.

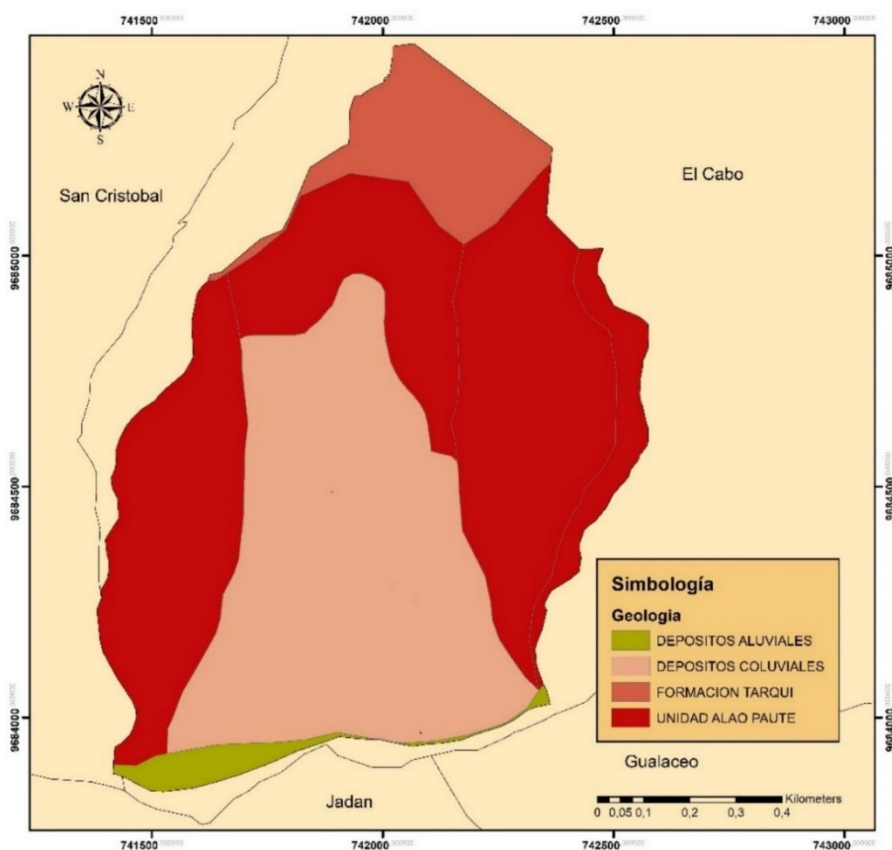
Gráfico 8: Formaciones geológicas del cerro Mishquiyacu



Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (MAGAP y SIGTIERRAS, 2015).

En la Figura 6, se aprecia la distribución de las formaciones geológicas en el cerro Mishquiyacu. Los depósitos coluviales componen gran parte de la zona central y sur del cerro, la unidad Alao Paute parte de la zona norte y las zonas laterales, la formación Tarqui está ubicada en la zona norte y los depósitos aluviales en el sur, asociados al río Paute.

Figura 6: Mapa de geología



Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (MAGAP y SIGTIERRAS, 2015).

5.1.6 Geomorfología.

El cerro Mishquiyacu presenta una geomorfología irregular, la cual a lo largo de los años se ha ido dando forma debido a procesos naturales, siendo los más representativos los erosivos, movimientos de masa, fallas geológicas, entre otros.

En la Tabla 22, se presentan las geoformas que constituyen el cerro Mishquiyacu. A continuación, se las describirá a partir de la información proporcionada por (MAGAP y SIGTIERRAS, 2015):

- Vertiente Heterogénea: Esta vertiente se presenta en una gran variedad de rangos de pendiente (12% al 70%), siendo laderas de perfil irregular, con

declives importantes de 100 a más de 300 metros y longitudes de vertiente largas. Se asienta sobre el sustrato de la formación Tarqui. Esta geoforma tiene un área de 11,56 ha que ocupa el 9,22% del territorio.

- Barranco: Es una geoforma con pendientes transversales fuertes (40% a 70%), ausencia de suelos, de incisión lineal y en forma de V. Ocupa 4,94 ha que equivale al 3,94 % de la superficie.
- Depósitos de deslizamiento, masa deslizada: Estos depósitos corresponden a las masas de roca y suelo producidas por movimientos de masa, situadas al pie de los correspondientes escarpes de deslizamiento. Estos depósitos se han generado en zonas donde aflora la Unidad Alao-Paute. Con un área de 47,2 ha equivalente al 37,64% del territorio.
- Vertiente rectilínea con fuerte disección: Son laderas con un perfil rectilíneo que presentan una fuerte disección y una pendiente uniforme que va desde los 40% a 70%. El desnivel relativo está entre los 200 a 300 metros y longitud de vertiente larga. La formación geológica sobre la que se asienta es la Unidad Alao-Paute. Esta geoforma tiene un área de 44,24 ha que equivale al 35,28% de su superficie.
- Escarpe de deslizamiento: Sus pendientes son fuertes las cuales pueden ir desde los 40% a los 100%, debido al deslizamiento ocurrido. Dicho deslizamiento se produjo sobre la litología correspondiente a la unidad Alao-Paute y las rocas volcánicas de la Formación Tarqui. Ocupa un área de 14,6 ha lo que representa un 11,64% del territorio.
- Valle fluvial: Esta geoforma se presenta asociada al curso del río Paute, se caracteriza por la presencia de depósitos aluviales transportados y depositados por los canales fluviales y de granulometría muy diversa, los terrenos a los que dan lugar estos materiales se inundan, parcial o totalmente, durante épocas de crecidas. Llegando a ocupar una superficie de 2,87 ha, lo que es un 2,29% del territorio.

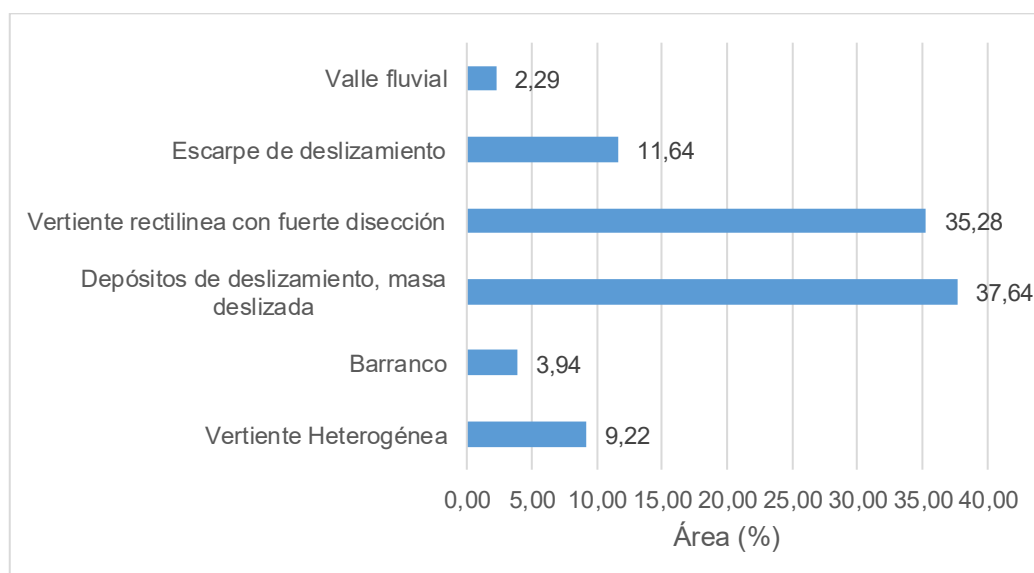
Tabla 22: Geomorfología del cerro Mishquiyacu

Geomorfología	Área (ha)	%
Vertiente Heterogénea	11,56	9,22
Barranco	4,94	3,94
Depósitos de deslizamiento, masa deslizada	47,2	37,64
Vertiente rectilínea con fuerte disección	44,24	35,28
Escarpe de deslizamiento	14,6	11,64
Valle fluvial	2,87	2,29
Total	125,47	100

Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (MAGAP y SIGTIERRAS, 2015).

En el Gráfico 9, se muestra de manera porcentual la superficie que ocupan las geoformas dentro del cerro Mishquiyacu, en donde los depósitos de deslizamiento, masa deslizada son los que más área tienen con un 37,64 % del territorio. Por el contrario, el valle fluvial contempla solo un 2,29% del área, siendo la geo formación más pequeña.

Gráfico 9: Geomorfología del cerro Mishquiyacu

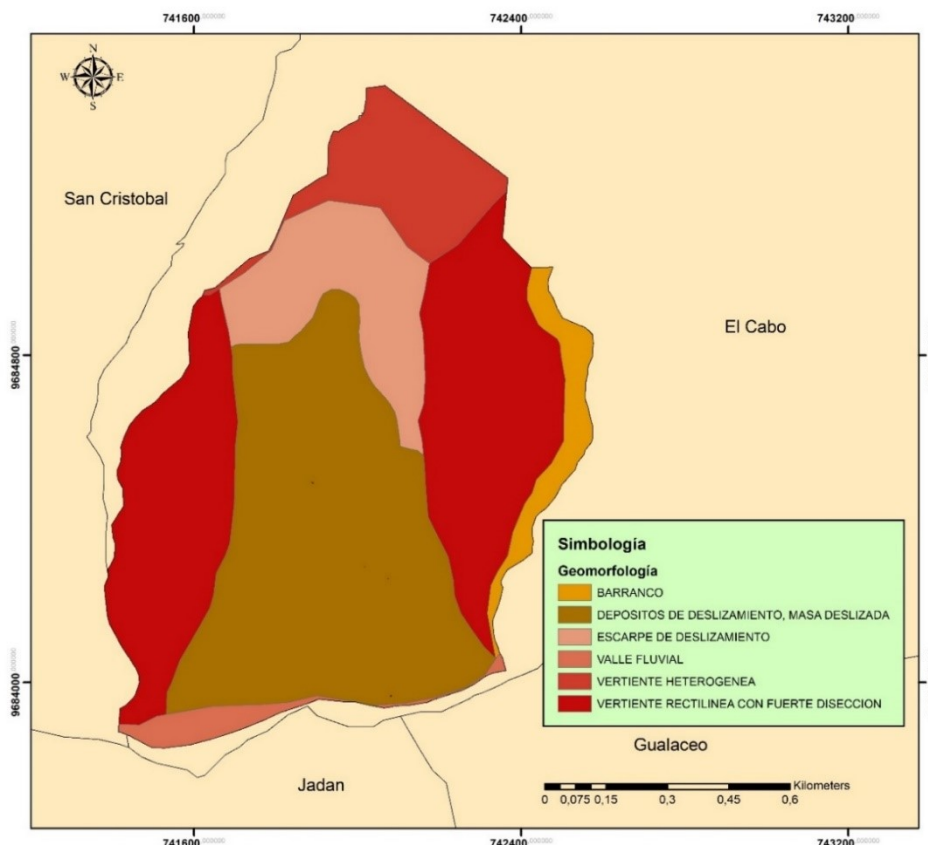


Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (MAGAP y SIGTIERRAS, 2015).

En la Figura 7, se aprecia la distribución de las geomorfologías en el cerro Mishquiyacu. Los depósitos de deslizamiento y masa deslizada componen gran parte de la zona central y sur del cerro, el escarpe de deslizamiento parte de la zona norte, la vertiente rectilínea con fuerte disección las zonas laterales, la

vertiente heterogénea está ubicada en la zona norte y el valle fluvial en el sur, asociados al río Paute.

Figura 7: Mapa de geomorfología



Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (MAGAP y SIGTIERRAS, 2015).

5.1.7 Pendientes.

Las pendientes en el cerro Mishquiayacu pueden variar en gran medida debido a las características geomorfológicas y geológicas, y a los cambios ocasionados por efectos de la naturaleza. En la Tabla 23, se tiene primero que existe un relieve plano a fuertemente inclinado que ocupa 13 ha con un equivalente del 10,42% del territorio y con una pendiente entre el rango de 0 a 30%; segundo, un relieve ligeramente escarpado, con pendientes de 30 a 50%, con un área de 28,64 ha, que equivalen al 22,96% del territorio; tercero, un relieve moderadamente escarpado, con una pendiente entre el rango de 50 a 100%, con un área de 71,87 ha que representa un 57,62% del territorio; cuarto, un relieve con un fuerte escarpado, con pendientes mayores al 100%, ocupando un área de 11,23 ha, que equivalen al 9% del territorio del cerro.

Los relieves escarpados antes mencionados, que ocupan la mayoría del territorio, poseen una elevada saturación hídrica, la cual incide en los fenómenos geomorfológicos del cerro Mishquiyacu. Debido a que, al tener grandes pendientes y por la fuerza de la gravedad, disminuye el escurrimiento subsuperficial por infiltración y aumenta el superficial. Esto incrementa la velocidad del agua y por consiguiente el arrastre del suelo en donde la forma de la pendiente también influye en el poder erosivo del agua (GADM Paute, 2014).

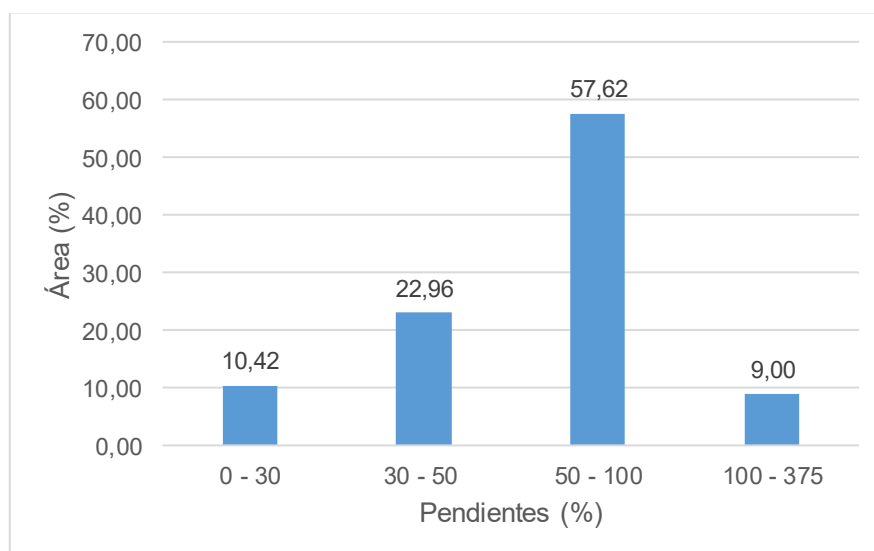
Tabla 23: Pendientes del cerro Mishquiyacu

Pendiente (%)	Descripción	Área (ha)	%
0 - 30	Plano a Fuertemente Inclinado	13	10,42
30 - 50	Ligeramente Escarpado	28,64	22,96
50 - 100	Moderadamente Escarpado	71,87	57,62
100 - 375	Fuerte Escarpado	11,23	9,00
Total		125,47	100

Elaborado por: Autor, 2021.

En el Gráfico 10, se muestra de manera porcentual la superficie que ocupan las pendientes dentro del cerro Mishquiyacu, en donde las pendientes de entre 50 a 100% son las que más área tienen con un 57,62% del territorio. Por el contrario, las pendientes de entre 100 a 375% contemplan solo un 9% del área, siendo el que menor relieve ocupa.

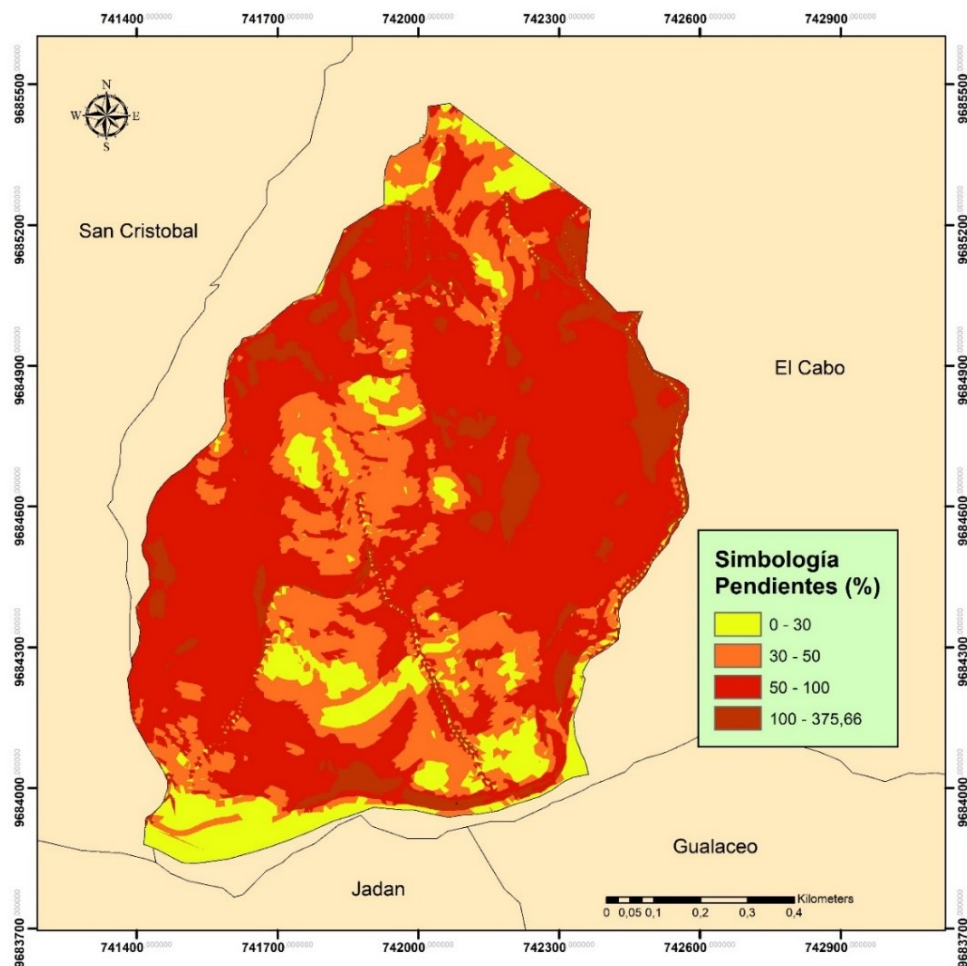
Gráfico 10: Pendientes del cerro Mishquiyacu



Elaborado por: Autor, 2021.

En la Figura 8, se aprecia la distribución de las pendientes en el cerro Mishquiyacu. Las pendientes que están en el rango de entre 0 a 50 % componen parte de la zona norte, sur y centro del cerro. Por otro lado, las pendientes que están entre los rangos de 50 a 375 %, ocupan la mayoría del territorio del cerro, ubicándose predominantemente en las zonas laterales (oeste y este) del área de estudio.

Figura 8: Mapa de pendientes



Elaborado por: Autor, 2021.

5.1.8 Movimientos de Masas.

En base a la información proporcionada por Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos, los movimientos de masas o deslizamientos de tierra en el cerro Mishquiyacu son uno de los principales problemas que afronta debido a que se encuentra en una zona de alto riesgo por las características litológicas del sector. En general, el 84,55% del área de estudio cuenta con una elevada probabilidad de

que sucedan eventos que culminen en fuertes deslizamientos. Estos fenómenos pueden darse por factores como suelos poco cohesionados, rocas meteorizadas, fracturadas, pendientes fuertes y esto acelerado por elementos climáticos, sismo tectónicos y antrópicos (SNGR, 2011).

En la Tabla 24, se presenta la probabilidad de que una amenaza por movimientos de masa suceda en el cerro Mishquiyacu. La amenaza alta ocupa 53,14 ha que equivale al 42,71% del territorio, siendo esta la que mayor superficie cubre. Por otro lado, la zona que se encuentra con una amenaza nula tiene 6,02 ha lo que equivale a un 4,84% de su territorio.

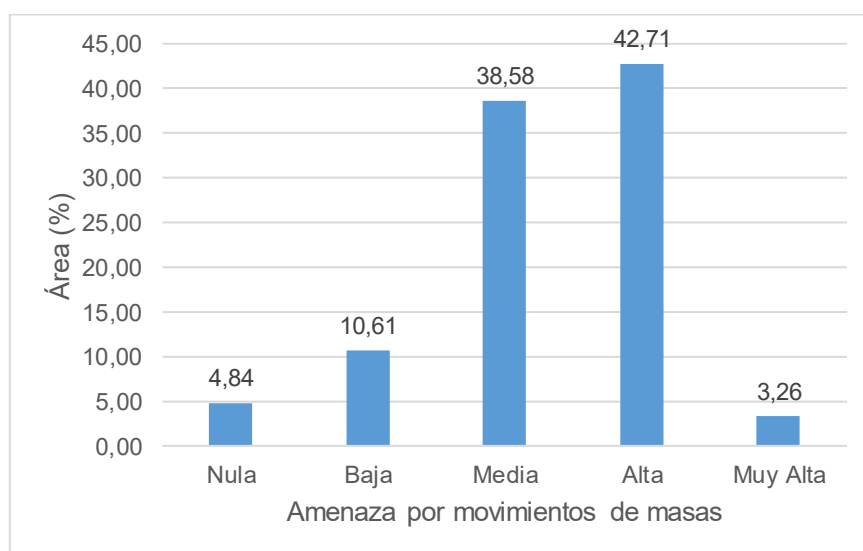
Tabla 24: Amenaza por movimientos de masas

Amenaza	Área (ha)	%
Nula	6,02	4,84
Baja	13,2	10,61
Media	48	38,58
Alta	53,14	42,71
Muy Alta	4,05	3,26
Total	124,41	100

Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (SNGR, 2011).

En el Gráfico 11, se muestra de manera porcentual la superficie que ocupan las amenazas por movimientos de masa en el cerro Mishquiyacu, en donde las amenazas altas y medias son las que más área tienen con un 42,71% y 38,58% del territorio respectivamente. Por el contrario, las amenazas bajas y nulas contemplan solo un 10,61% y 4,84% del área, siendo las que menor área ocupan.

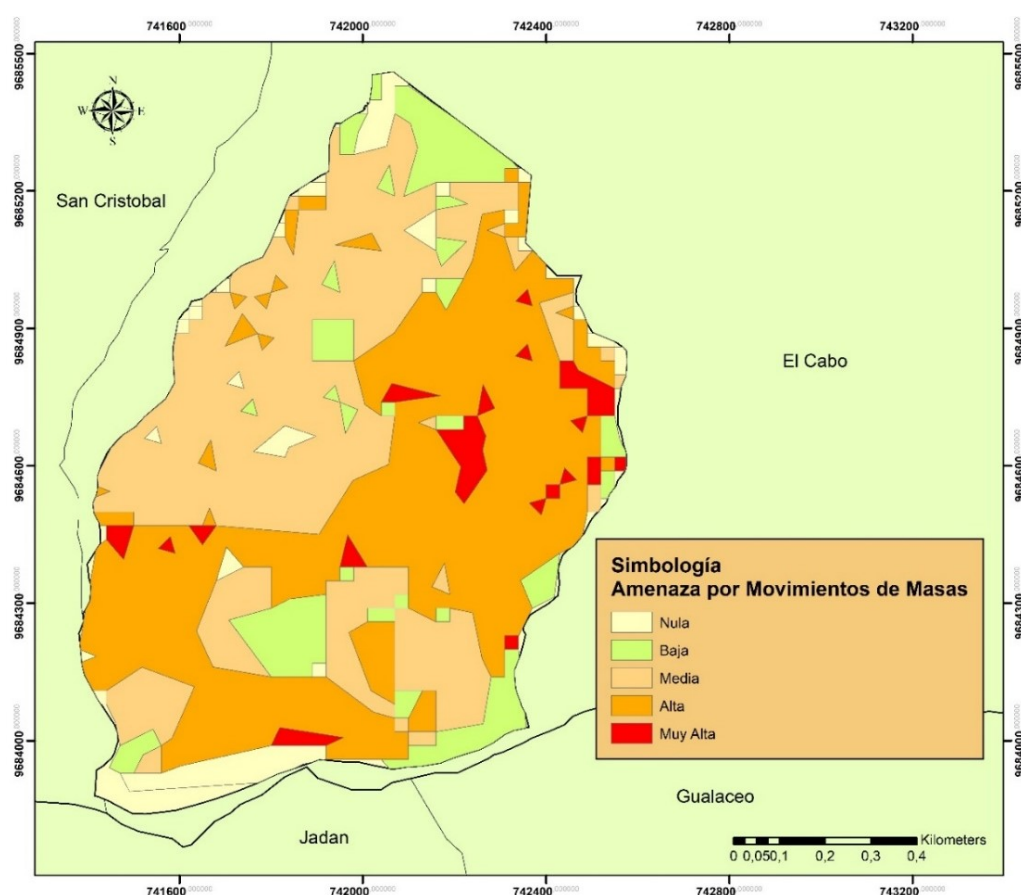
Gráfico 11: Amenaza por movimientos de masas



Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (SNGR, 2011).

En la Figura 9, se aprecia la distribución de los movimientos de masa en el cerro Mishqiyacu. Las amenazas nulas y bajas se esparcen mayoritariamente por parte de la zona norte y sureste. Por otro lado, las zonas con una alta y muy alta amenaza ocupan la mayoría del territorio del cerro, ubicándose predominantemente en la zona suroeste y noreste del área de estudio.

Figura 9: Mapa de movimientos de masas



Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (SNGR, 2011).

5.1.9 Áreas de bosque y vegetación protectora.

El cerro Mishquiyacu está cerca de tres Áreas de Bosque y Vegetación Protectora (ABVP), el área Pichahuaycu que se localiza en las provincias de Azuay y Cañar, con 791,53 ha que se encuentra en el territorio del cantón Paute, ubicándose en las parroquias de San Cristóbal y El Cabo. El bosque protector Collay con una extensión total de 20 438,54 hectáreas, de las cuales 728,7 hectáreas se ubican dentro de la parroquia Chicán, cantón Paute (GADM Paute, 2014). Finalmente, el bosque protector Aguarongo que se ubica en el cantón Gualaceo, la mayor parte de su territorio, con una superficie de 2 080 ha (Loyola, 2019).

En la Tabla 25, apreciamos las distancias hacia las Áreas de Bosque y Vegetación Protectora, en donde el bosque protector Pichahuayco se encuentra a una distancia de 1,04 km, el bosque protector Aguarongo a 4,15 km y el bosque protector Collay, siendo el más lejano, a una distancia de 6,62 km.

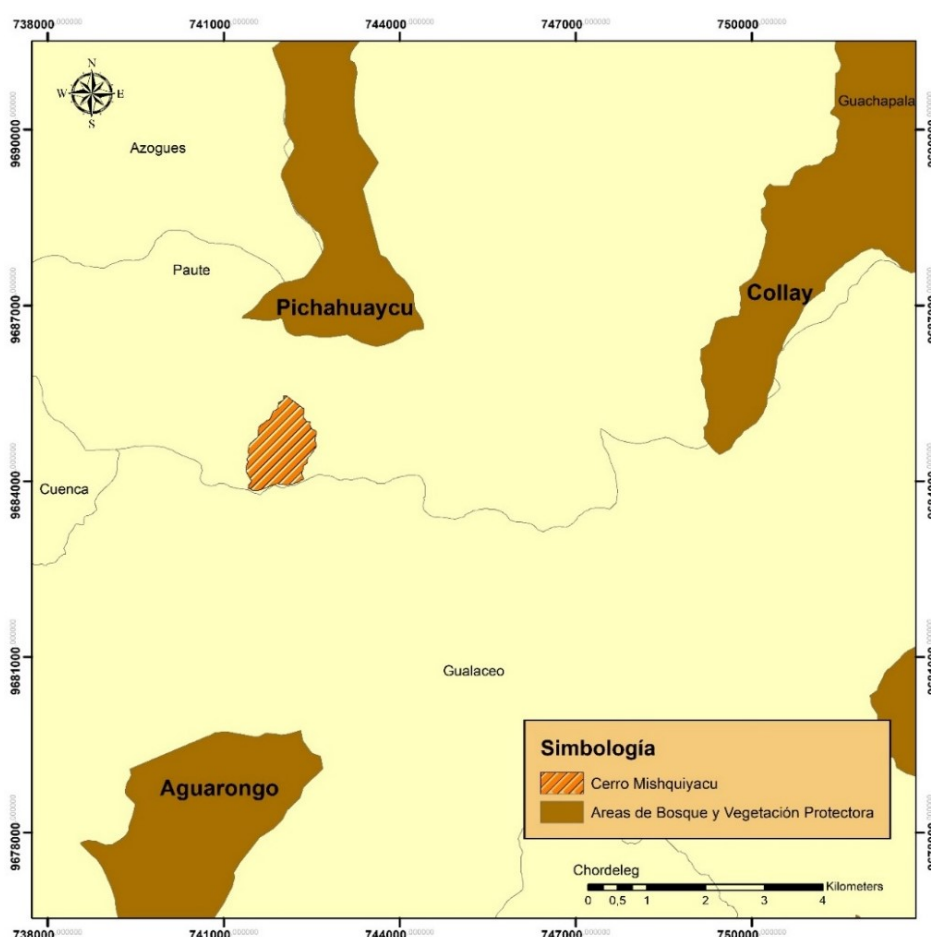
Tabla 25: Distancia a AVBP

ABVP	Kilómetros
Pichahuaycu	1,04
Aguarongo	4,15
Collay	6,62

Elaborado por: Autor, 2021.

En la Figura 10, se observan las áreas de bosque y vegetación protectora que están cerca del cerro Mishquiyacu. El bosque protector Pichahuaycu se encuentra al norte, el bosque protector Collay al este y el bosque protector Aguarongo se localiza al sur del área de estudio.

Figura 10: Áreas de bosque y vegetación protectora



Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (MAE, 2019).

5.1.10 Estado de salud de la vegetación (Índice NDVI).

El estado de salud de la vegetación se lo obtuvo mediante el índice NDVI, el cual puede variar entre -1 a 1. Para interpretar estos valores se fundamentó en lo propuesto por Toribio (2019). En la Tabla 26, se observa en primer lugar el rango

entre -0,75 a 0,1 que indica una superficie de agua (río Paute), con un área de 0,89 ha que equivale a un 0,71%; en segundo, el rango entre 0,1 a 0,2 en el cual se identifican suelos rocosos sin vegetación, con un área de 0,87 ha, equivalente al 0,69% del territorio; en tercer lugar, el rango de 0,2 a 0,3 que indica vegetación enferma o con un estrés hídrico elevado, con una área de 7,04 ha, equivalente al 5,71% de la superficie; en cuarto lugar, el rango entre 0,3 a 0,4, indica una vegetación moderadamente saludable con un ligero estrés, con una área de 29,12 ha, equivalente al 23,22% del territorio; en quinto lugar, el rango de 0,4 a 0,5, que indica una vegetación saludable, con una área de 41,48 ha, que representa el 33,07% del territorio; en sexto lugar, está el rango de entre 0,5 a 0,83, indicando una vegetación muy saludable y un dosel denso, con una área de 46,03 ha, siendo la cobertura que mayor superficie ocupa, equivalente al 36,70% del área de estudio.

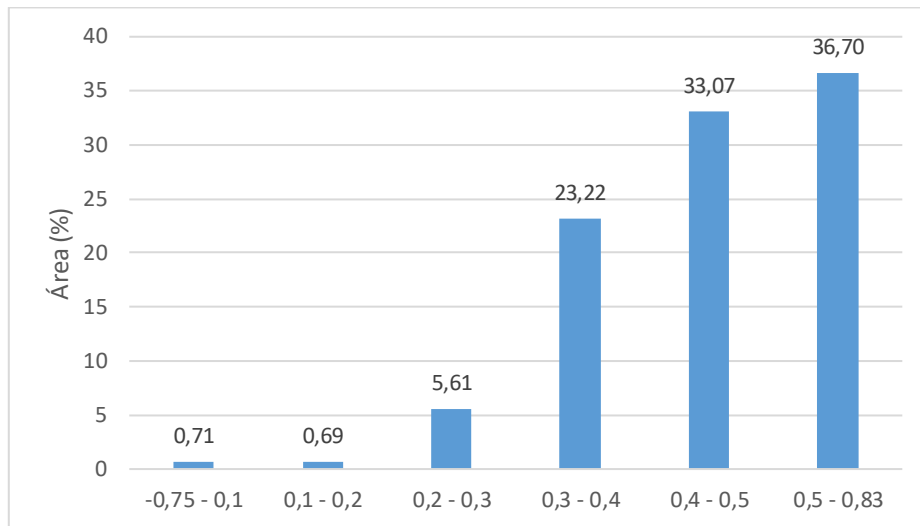
Tabla 26: Estado de salud de la vegetación

Índice NDVI	Área (ha)	%
-0,75 – 0,1	0,89	0,71
0,1 - 0,2	0,87	0,69
0,2 - 0,3	7,04	5,61
0,3 - 0,4	29,12	23,22
0,4 - 0,5	41,48	33,07
0,5 - 0,83	46,03	36,70
Total	125,47	100,00

Elaborado por: Autor, 2021.

En el Gráfico 12, se muestra de manera porcentual la superficie que ocupa la vegetación saludable y no saludable en el cerro Mishquiyacu, en donde la vegetación saludable (0,4 – 0,5) y muy saludable (0,5 – 0,83), ocupan una mayor cantidad de territorio, con un 33,07% y 36,7% respectivamente. Por el contrario, la vegetación enferma (0,2 – 0,3) contempla solo un 5,61% de la superficie del área de estudio.

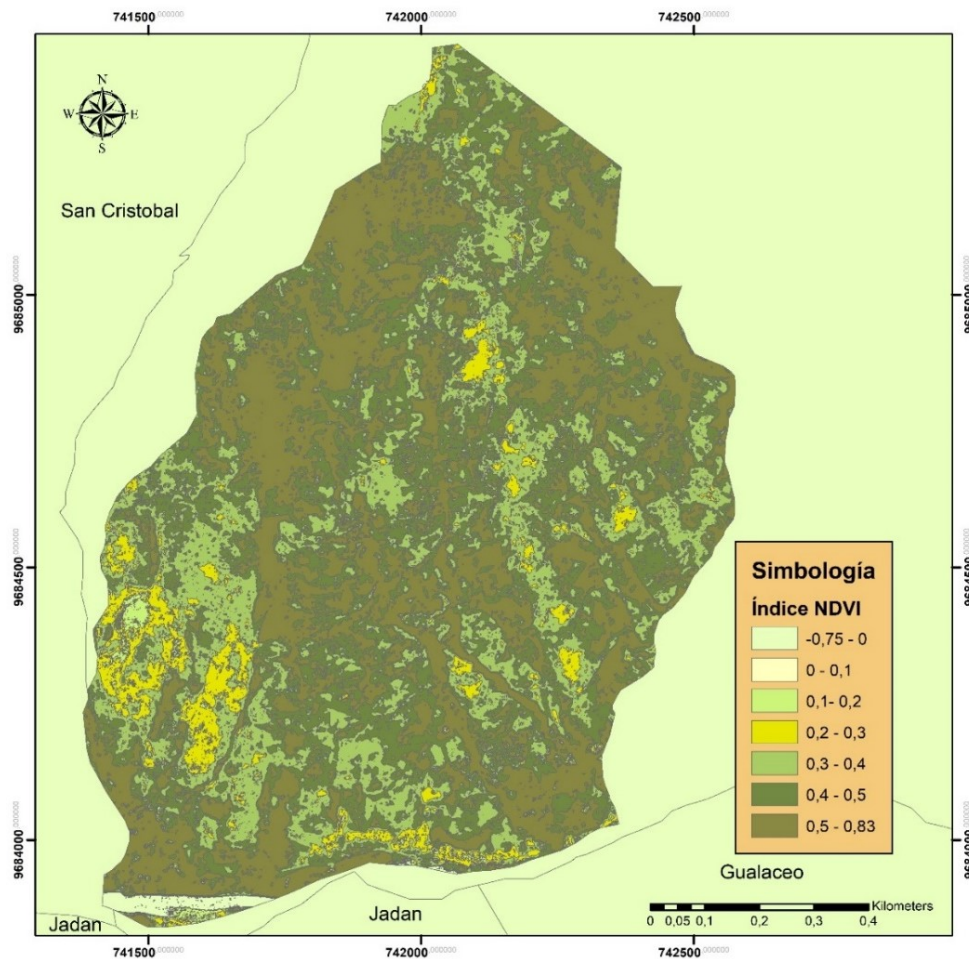
Gráfico 12: Estado de salud de la vegetación



Elaborado por: Autor, 2021.

En la Figura 11, se aprecia la distribución de la vegetación en el cerro Mishquiyacu. Los índices más bajos que señalan una vegetación enferma están concentrados en su mayoría en la zona suroeste. Por otro lado, las zonas con una vegetación saludable y con un índice NDVI superior a 0,5, se encuentran en la mayoría del territorio, ubicándose predominantemente en la zona noroeste, noreste y centro del área de estudio.

Figura 11: Mapa del estado de salud de la vegetación

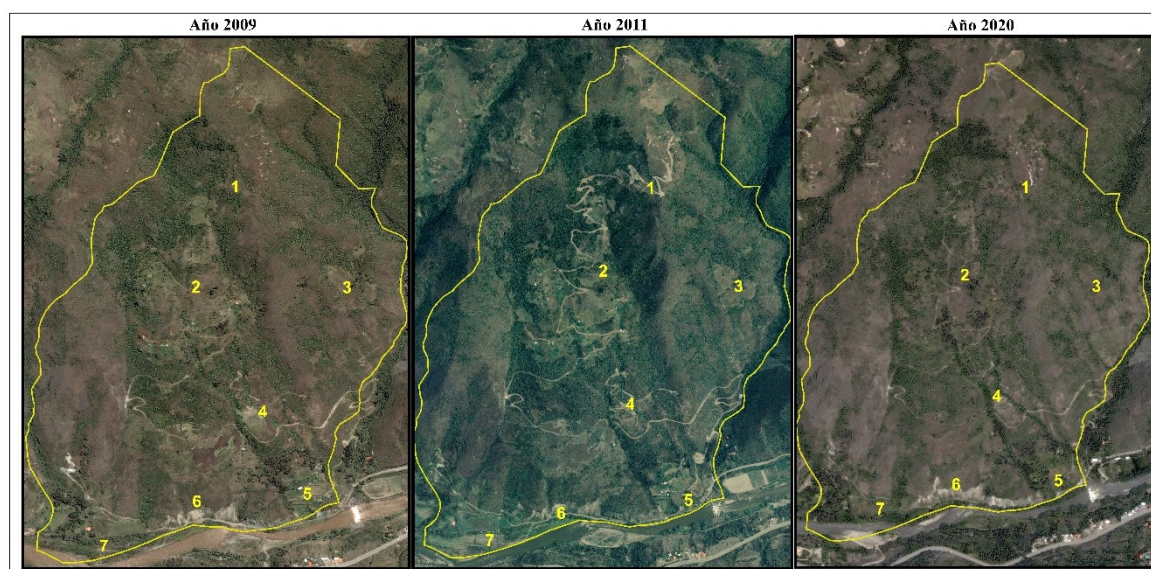


Elaborado por: Autor, 2021.

5.1.11 Comparación histórica de imágenes satelitales.

El análisis histórico de los cambios que ha sufrido el cerro Mishqiyacu a lo largo de los años es de suma importancia para poder comprender mejor la problemática ambiental. A continuación, se presenta la Figura 12, en la cual se muestran imágenes satelitales de los años 2009, 2011 y 2020.

Figura 12: Imágenes satelitales de los años 2009, 2011 y 2020 respectivamente



Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (MAE, 2011); (Geospace Solutions, 2020).

En la Tabla 27, se presenta el análisis histórico de las imágenes satelitales de los años 2009, 2011 y 2020, en donde se señala los cambios que ha sufrido el cerro Mishquiyacu durante un periodo de tiempo de 11 años, determinando las zonas que más modificaciones han tenido y en donde ha sido más evidente las variaciones.

Tabla 27: Análisis histórico del cerro Mishquiyacu

Zona Nro.	Año		
	2009	2011	2020
1	En la zona norte del cerro no se evidencia carretera para automóviles. Está solo llega hasta la zona central.	Se observa la construcción de un camino en la zona norte que llega hasta la quebrada Chilcapugro.	La carretera que fue construida en el año 2011 se ha perdido en la zona norte del cerro debido a procesos como la regeneración natural. Solo quedan pequeños tramos que están cubiertos con vegetación en su mayoría.
2	En la zona central del cerro se observa pastizales para ganado y procesos de desmonte en la zona norte.	En la zona central los pastizales han aumentado y se han expandido hasta zonas más elevadas.	Existe una clara regeneración natural y un desarrollo de vegetación arbustiva y herbácea.

3	En la zona noreste del cerro se observa un área considerable con pastizales.	El área con pastizales ha aumentado de tamaño.	En el año 2020, se observa que el área con pastizales ha desaparecido casi en su totalidad, debido al desarrollo de vegetación arbustiva.
4	En la región sureste se observa la presencia cultivos y de un camino en construcción que parte del carretero principal.	El camino se observa terminado y los cultivos se siguen desarrollando.	El camino ha sido cubierto por vegetación y las zonas dedicadas a cultivos se han convertido en áreas erosionadas.
5	Cerca del río Paute, en la zona sureste, se observa la presencia de cultivos y área poblada.	La zona cultivada y la infraestructura del área poblada se mantiene.	La vegetación ha cubierto casi en su totalidad el área que fue cultivada y se evidencia pocas viviendas.
6	En la zona sur del cerro, se puede observar que existe un área sin cubierta vegetal, la cual pudo ser producida por la construcción de la carretera.	El área sin cobertura vegetal se mantiene y ha aumentado en extensión.	Se evidencia que en el área sin cobertura vegetal ha aumentado debido a deslizamientos de tierra.
7	En esta área, zona suroeste, se aprecia la presencia de cultivos cerca de la orilla del río Paute y de remanentes de bosque de ribera.	Los cultivos se mantienen a orillas del río Paute, pero la cobertura vegetal que existía en la orilla del río ha desaparecido. Aún existe presencia de remanentes de bosque de ribera.	Gran parte de la orilla ha desaparecido y ahora el río Paute cruza por una pequeña extensión al suroeste del cerro. Los cultivos han desaparecido y se ha desarrollado pastos y vegetación arbustiva. Los remanentes de bosque de ribera han aumentado.

Elaborado por: Autor, 2021.

5.2 Resultados del método AHP

En la reunión de expertos se dieron los valores de importancia a cada variable, teniendo como resultado los valores presentados en la Tabla 28, los cuales permitieron obtener la matriz normalizada (ver Anexo 2) para luego calcular la ponderación para el uso y cobertura del suelo 2020, cuerpos de agua, pendientes y movimientos de masa como se visualiza en la Tabla 29. Estos valores fueron

evaluados mediante la relación de consistencia (ver Anexo 3) y finalmente transformados a porcentaje para cargarlos en el modelo SIG.

Tabla 28: Matriz de ponderación por pares

Variabes	Uso y cobertura del suelo 2020	Cuerpos de agua	Pendientes	Movimientos de masas
Uso y cobertura del suelo 2020	1,00	3,00	0,33	0,33
Cuerpos de agua	0,33	1,00	0,20	0,20
Pendientes	3,00	7,00	1,00	1,00
Movimientos de masas	3,00	5,00	1,00	1,00
Suma	7,33	16,00	2,53	2,53

Elaborado por: Autor, 2021.

Tabla 29: Ponderación por cada variable

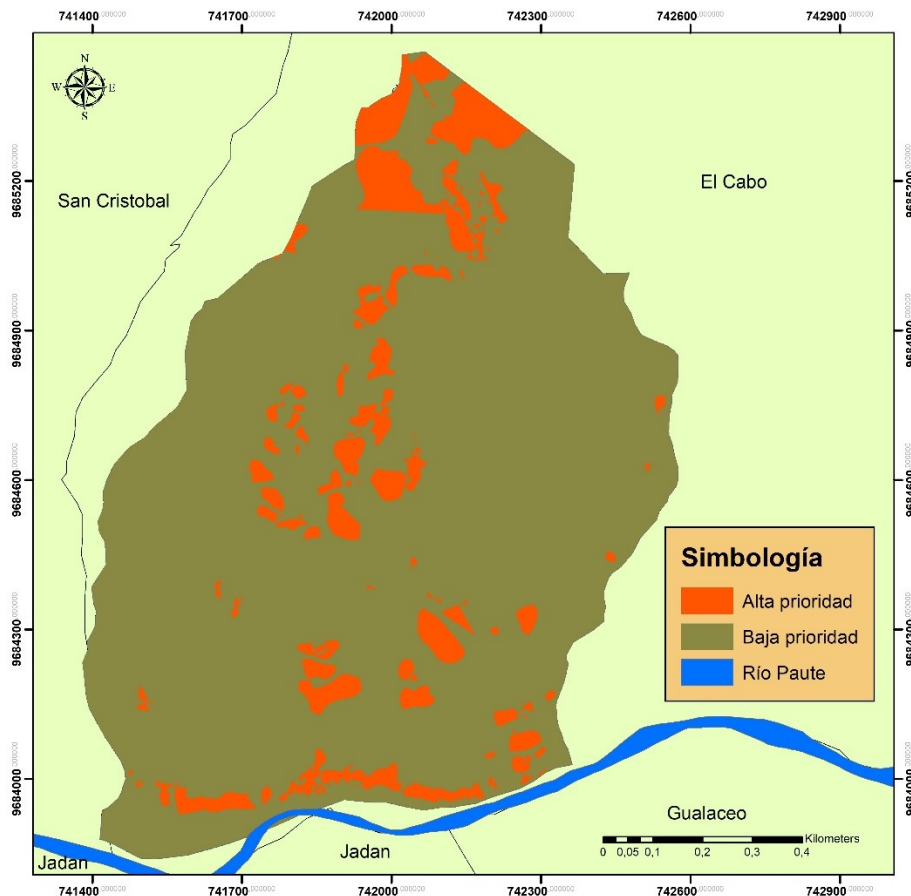
Variabes	Ponderación / Vector de pesos W	%
Uso y cobertura del suelo 2020	0,15	15
Cuerpos de agua	0,07	7
Pendientes	0,41	41
Movimientos de masas	0,38	38
Suma	1	100

Elaborado por: Autor, 2021.

5.3 Áreas prioritarias para la restauración ecológica en el cerro Mishquiyacu

Una vez realizada la metodología multicriterio con las variables de uso y cobertura del suelo 2020, movimientos de masas, pendientes y cuerpos de agua, se obtuvo como resultado, el mapa de las áreas prioritarias para realizar la restauración ecológica, detallado en la Figura 13.

Figura 13: Mapa de áreas prioritarias para restauración ecológica



Elaborado por: Autor, 2021.

En la Figura 13, se observa la distribución de las áreas que tienen una prioridad alta o baja a ser restauradas. Las áreas con una alta prioridad ocupan el 10,87 % del territorio y las áreas con una baja prioridad cubren el 89,12 % del cerro Mishqiyacu. Estas áreas están ubicadas en la zona norte, central y en su mayoría a lo largo de la zona sur.

En la Tabla 30, se puede apreciar el área que ocupan las zonas prioritarias para realizar la restauración ecológica. En donde, las zonas con una alta prioridad de restauración tienen un área de 13,64 ha, equivalente al 10,87 % del territorio. Por el contrario, las zonas con bajas prioridades de restauración ocupan 111,83 ha, que representa el 89,12 % del territorio.

Tabla 30: Áreas prioritarias para restauración ecológica

Prioridad de restauración	Área (ha)	%
Alta	13,64	10,87
Baja	111,83	89,12
Total	125,47	100

Elaborado por: Autor, 2021.

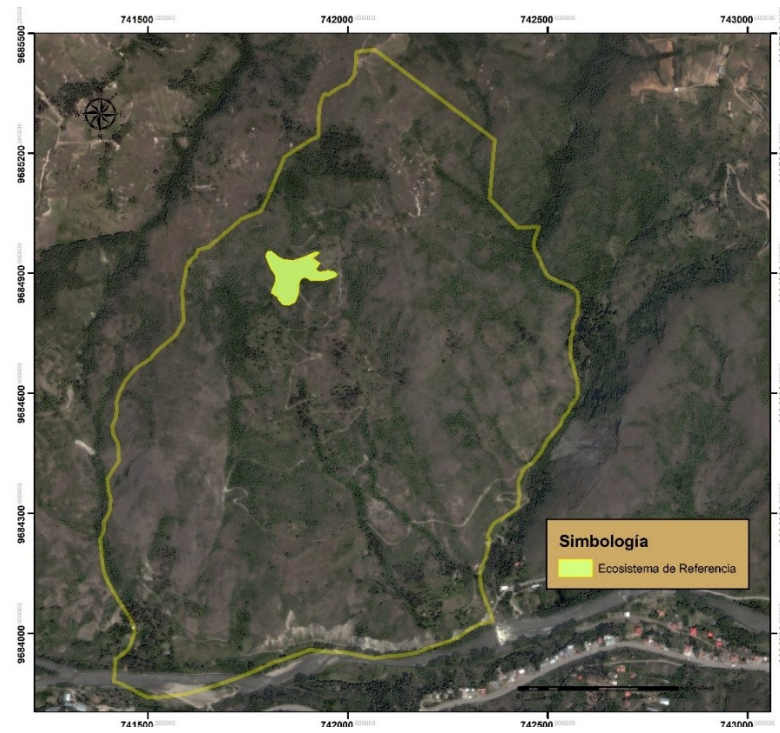
5.4 Propuesta de Restauración Ecológica

La propuesta para restaurar el cerro Mishquiyacu está articulada en una serie de pasos que se fueron realizando en un orden predefinido, adaptándolos de Vargas (2007). Estos siguieron los preceptos de la ciencia de la restauración con el fin de proponer estrategias que sean capaces de cumplirse, siendo adecuadas a cada zona del área de estudio y tomando en consideración técnicas basadas en conceptos científicos, debido a que cada lugar necesita ser intervenido con medidas que comprendan sus características propias.

5.4.1 Selección del ecosistema de referencia.

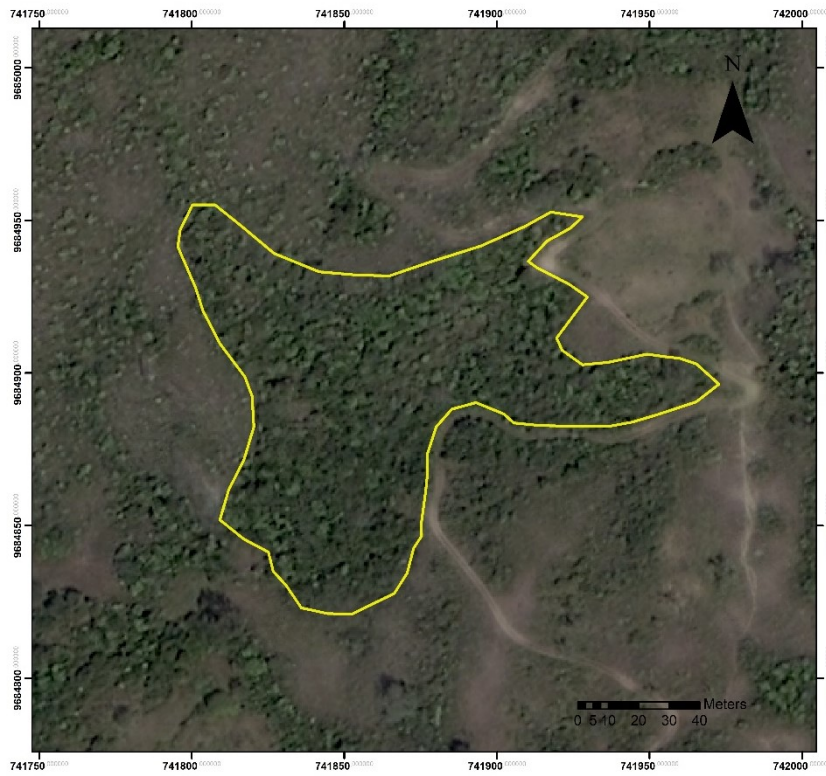
Después de realizar una visualización de la vegetación por todo el cerro Mishquiyacu, se encontró un bosque nativo en buenas condiciones ecológicas, ubicado en la zona alta del cerro entre los 2 652 a 2 748 m.s.n.m (ver Figura 14). Éste conservaba las características originales del bosque nativo que en algún momento cubrió gran parte del área de estudio, y que, debido a las actividades antropogénicas a lo largo de los años, como la ganadería y agricultura principalmente, fueron degradando este ecosistema. El parche de bosque tiene un tamaño de 1,06 hectáreas (ver Figura 15), en el cual la altura de sus árboles, iban de entre los 5 a 10 metros (ver Anexo 6), se pudo observar también que el suelo tenía una capa considerable de hojarasca y el diámetro del tronco de los árboles a la altura del pecho (DAP) tenía entre 10 a 20 centímetros. En la Tabla 31 se presentan las coordenadas geográficas del ecosistema.

Figura 14. Ubicación del ecosistema de referencia en el cerro Mishqiyacu



Elaborado por: Autor, 2021.

Figura 15: Ecosistema de referencia



Elaborado por: Autor, 2021.

Tabla 31: Coordenadas geográficas del ecosistema de referencia

Punto	Latitud (X)	Longitud (Y)
1	741875	9684847
2	741877	9684873
3	741885	9684888
4	741906	9684884
5	741938	9684883
6	741973	9684896
7	741951	9684906
8	741929	9684903
9	741921	9684911
10	741930	9684926
11	741911	9684935
12	741928	9684952
13	741917	9684953
14	741866	9684932
15	741842	9684933
16	741801	9684955
17	741796	9684943
18	741821	9684881
19	741809	9684852
20	741835	9684823
21	741868	9684831

Elaborado por: Autor, 2021.

Este ecosistema de referencia (ver Imagen 1 e Imagen 2) ayudó a establecer las trayectorias sucesionales posibles, indicando hacia donde debemos encaminar el proyecto de restauración. El inventario que se realizó en el bosque nativo y de las zonas adyacentes sirvieron para efectuar una interpretación de la dinámica actual de la vegetación (Vargas, 2007).

Imagen 1: Ecosistema de referencia en el cerro Mishquiyacu



Fuente: Autor, 2021.

Imagen 2: Ecosistema de referencia



Fuente: Autor, 2021.

En este parche se encontraron especies de plantas nativas y endémicas (ver Tabla 32), además se menciona especies que se hallaron en el resto del cerro Mishquiyacu las cuales son originarias del lugar y que más adelante servirán para incluirlas en las estrategias de restauración. También se muestra la categoría según

la UICN, dentro de lo cual podemos mencionar que la única especie en una situación de estado vulnerable (VU) es la *Salvia corrugata Vahl*. Las especies que están en un estado de casi en peligro (NT) son la *Aristeguietia cacalioides*, *Ageratina pseudochilca* y la *Baccharis obtusifolia*. Por otro lado, la *Morella pubescens* y la *Monnina pycnophylla* que poseen un estado de conservación de preocupación menor (LC).

Tabla 32: Especies vegetales del cerro Mishquiyacu

N°	Especie	Familia	Origen	Categoría
1	<i>Ageratina pseudochilca</i> (Benth.)	ASTERACEAE	Nativa	NT
2	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth.	PRIMULACEAE	Nativa	DD
3	<i>Myrsine dependens</i>	PRIMULACEAE	Nativa	DD
4	<i>Hesperomeles</i> <i>Ferruginea</i>	ROSACEAE	Nativa	DD
5	<i>Delostoma integrifolium</i> D. Don	BIGNONIACEAE	Nativa	DD
6	<i>Oreocallis grandiflora</i> (Lam.) R.Br.	PROTEACEAE	Nativa	DD
7	<i>Maytenus verticillata</i> (Ruiz & Pav.) DC.	CELASTRACEAE	Nativa	DD
8	<i>Salvia corrugata Vahl</i>	LAMIACEAE	Nativa	VU
9	<i>Barnadesia arborea</i> Kunth	ASTERACEAE	Nativa	DD
10	<i>Aristeguietia cacalioides</i> (Kunth) R.M. King & H. Rob	ASTERACEAE	Endémica	NT
11	<i>Monnina pycnophylla</i> B. Eriksen.	POLYGALACEAE	Endémica	LC
12	<i>Baccharis obtusifolia</i> Kunth	ASTERACEAE	Nativa	NT
13	<i>Duranta mutissii</i> L.f.	VERBENACEAE	Nativa	DD
14	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	BETULACEAE	Nativa	DD
15	<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	SAPINDACEAE	Nativa	LC
16	<i>Podocarpus sprucei</i> Parl.	PODOCARPACEAE	Nativa	DD
17	<i>Streptosolen jamesonii</i>	SOLANACEAE	Nativa	DD
18	<i>Croton</i> sp	EUPHORBIACEAE	Indeterminada	DD
19	<i>Morella pubescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.)	MYRICACEAE	Nativa	LC
20	<i>Lantana Rugosa</i> <i>Ferreyranthus</i>	VERBENACEAE	Indeterminada	DD
21	<i>verbascifolius</i> (Kunth) H. Rob. & Brettell Cotag	ASTERACEAE	Nativa	DD

22	<i>Cantua pyrifolia</i> Juss. ex Lam.	POLEMONIACEAE	Nativa	DD
23	<i>Smallanthus</i> sp	ASTERACEAE	Indeterminada	DD
24	<i>Rhamnus granulosa</i> (Ruiz y Pav.) Weberb. Ex MC Johnst	RHAMNACEAE	Nativa	DD
25	<i>Miconia aspergillaris</i> (Bonpl.) Naudin.	MELASTOMATAACEAE	Nativa	DD
26	<i>Ambrosia arborescens</i> Mill	ASTERACEAE	Nativa	DD
27	<i>Hesperomeles obtusifolia</i> Pers. Lindl	ROSACEAE	Nativa	DD

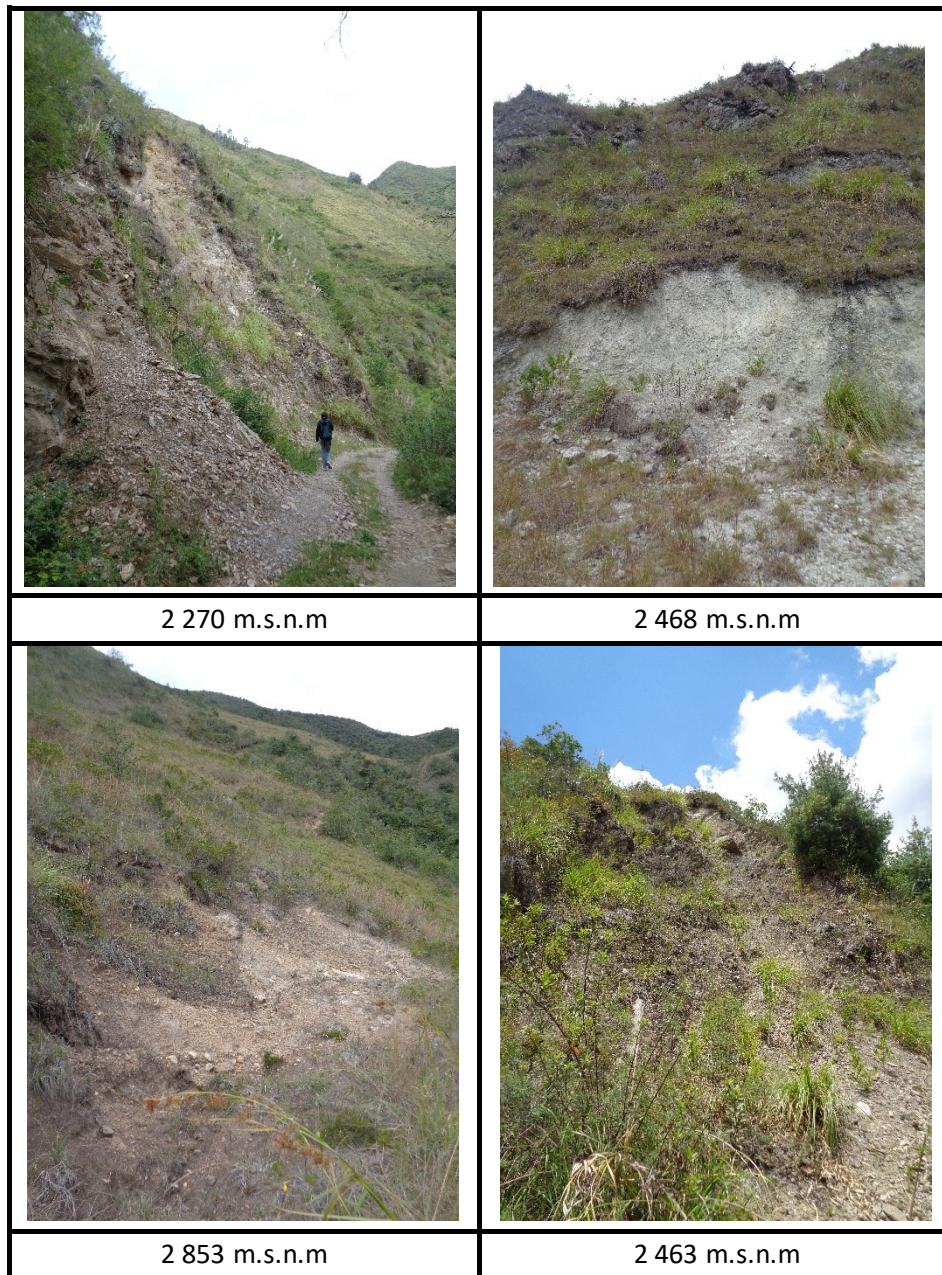
Elaborado por: Autor, 2021.

5.4.2 Estado actual del cerro Mishquiyacu.

Se identificaron los disturbios que afectan al cerro Mishquiyacu los cuales se determinaron al realizar un recorrido a lo largo y ancho del área de estudio. Estos factores tensionantes en su mayoría fueron causados por la intervención humana e incrementados por las condiciones climáticas, geológicas y geomorfológicas. Estos disturbios permiten precisar el problema para luego proponer los objetivos que servirán en el planteamiento del proceso de restauración (D. García, 2016). Además, se realizó un mapa de uso y cobertura del suelo del año 2020 (ver Figura 4 y Gráfico 7). A continuación, se presentan los factores tensionantes del área de estudio.

Áreas erosionadas en zonas de ladera: Se evidencian zonas desprovistas de cobertura vegetal en las cuales se han desarrollado procesos erosivos por estar ubicadas en pendientes con fuertes inclinaciones. Una parte de estas áreas erosionadas se encuentran a lo largo de la carretera que atraviesa el cerro Mishquiyacu, siendo ocasionadas en un principio por la construcción de la vía y después incrementadas por las precipitaciones y viento, al estar el suelo descubierto. Se constató de igual manera que en áreas en donde antes había pastos o cultivos, en zonas de ladera, y al ser abandonadas, poco a poco se ha ido perdiendo el horizonte fértil del suelo. Esto ha sido provocado por encontrarse en un estado de deterioro alto. Todos estos acontecimientos son influenciados por las condiciones mecánicas que posee cada sustrato. Lo mencionado anteriormente se puede verificar en la Imagen 3.

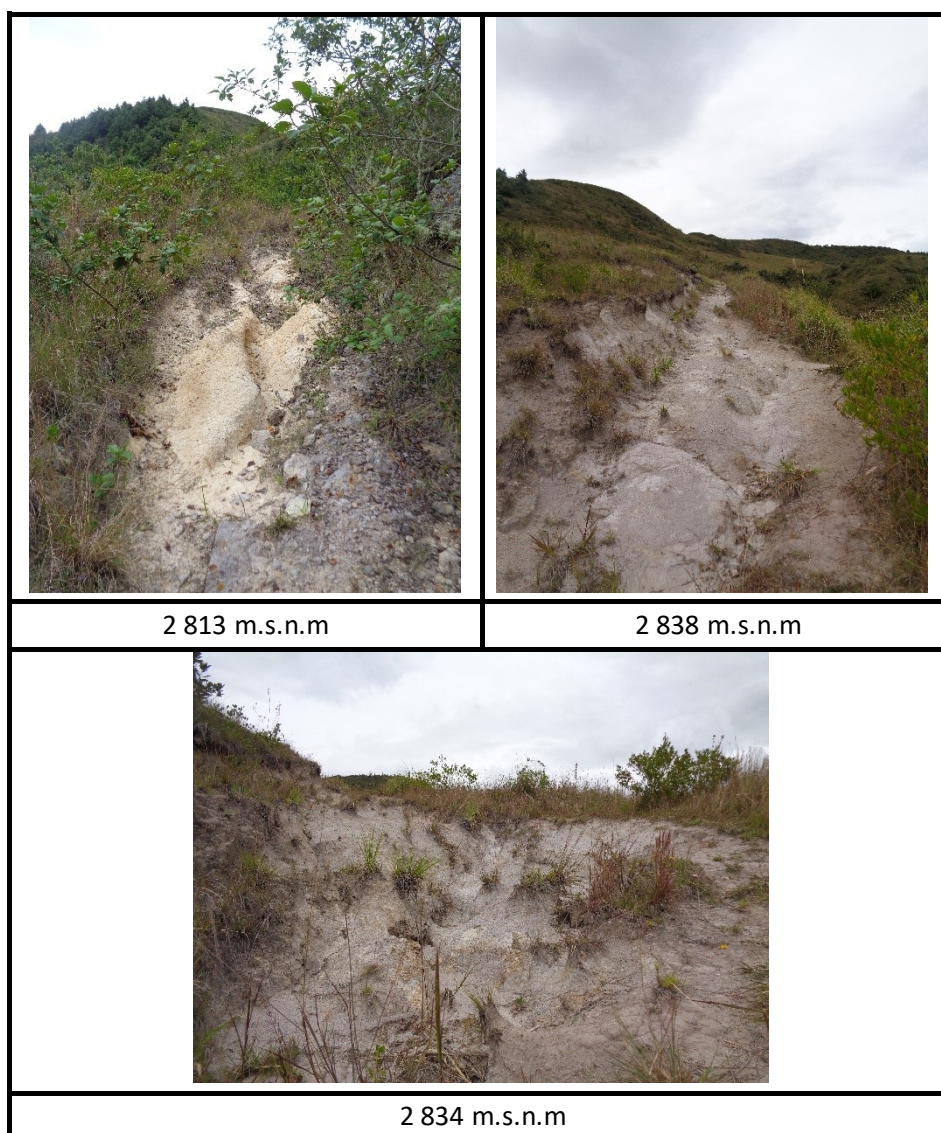
Imagen 3: Áreas erosionadas en zonas de ladera



Elaborado por: Autor, 2021.

Formación de cárcavas: Las cárcavas en el cerro Mishqiyacu se las puede localizar en la zona norte, las cuales se han formado sobre lo que fue en algún momento una carretera. El suelo al quedar sin cobertura vegetal nativa fue posiblemente lavado por la escorrentía superficial, desarrollando una erosión fuerte en el sector. En la Imagen 4 se puede observar las cárcavas en donde el horizonte fértil del suelo ha sido eliminado en casi en su totalidad y en el cual ya no se desarrolla vegetación arbórea o arbustiva.

Imagen 4: Cárcavas en proceso de formación

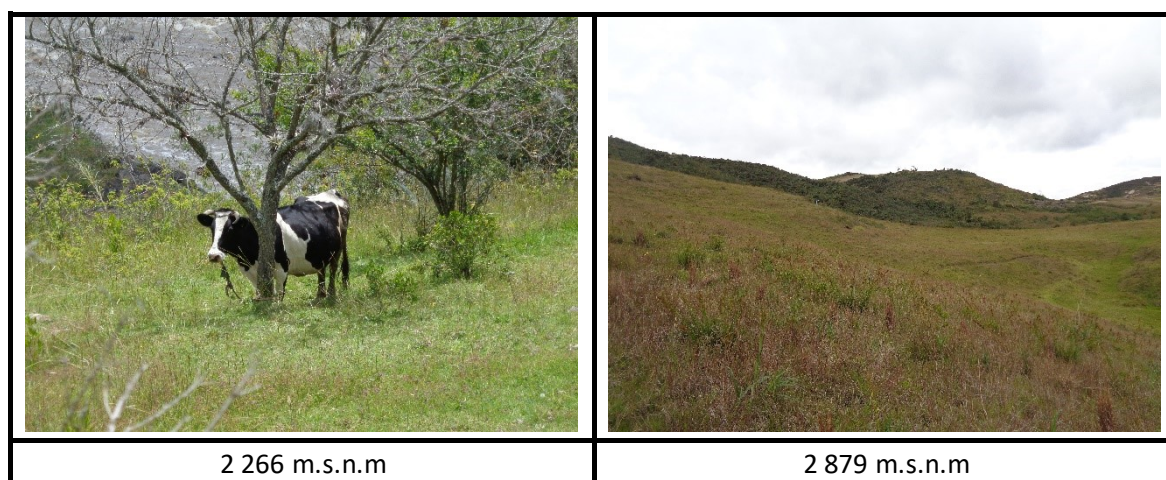


Elaborado por: Autor, 2021.

Pastoreo: Esta actividad es un factor tensionante que se la realiza en el cerro Mishquiyacu, la cual no permite la regeneración natural de los ecosistemas. Esto debido a que las vacas se alimentan de las especies vegetales nativas, especies pioneras, plántulas, etc. Comiendo los rebrotes de plantas que empiezan los procesos de sucesión natural. También se ha evidenciado que los ganaderos internan a sus animales en los relictos de bosque y matorral para alimentarlos, causando su degradación. Además de esto se siguen conservando las áreas de pastos que sirven para su alimento, como se observa en la Imagen 5. La compactación del suelo es otro elemento que suele estar asociado con el pastoreo, aumentando la densidad del suelo y provocando problemas en el sistema radical de las plantas, repercutiendo en una deficiente obtención de nutrientes, además de

una disminución en la infiltración del agua y aumento de la escorrentía (Faiguenbaum, 2017). Por otro lado, el sobrepastoreo en estas áreas de pastizal ha empezado a causar una erosión progresiva (ver Anexo 8).

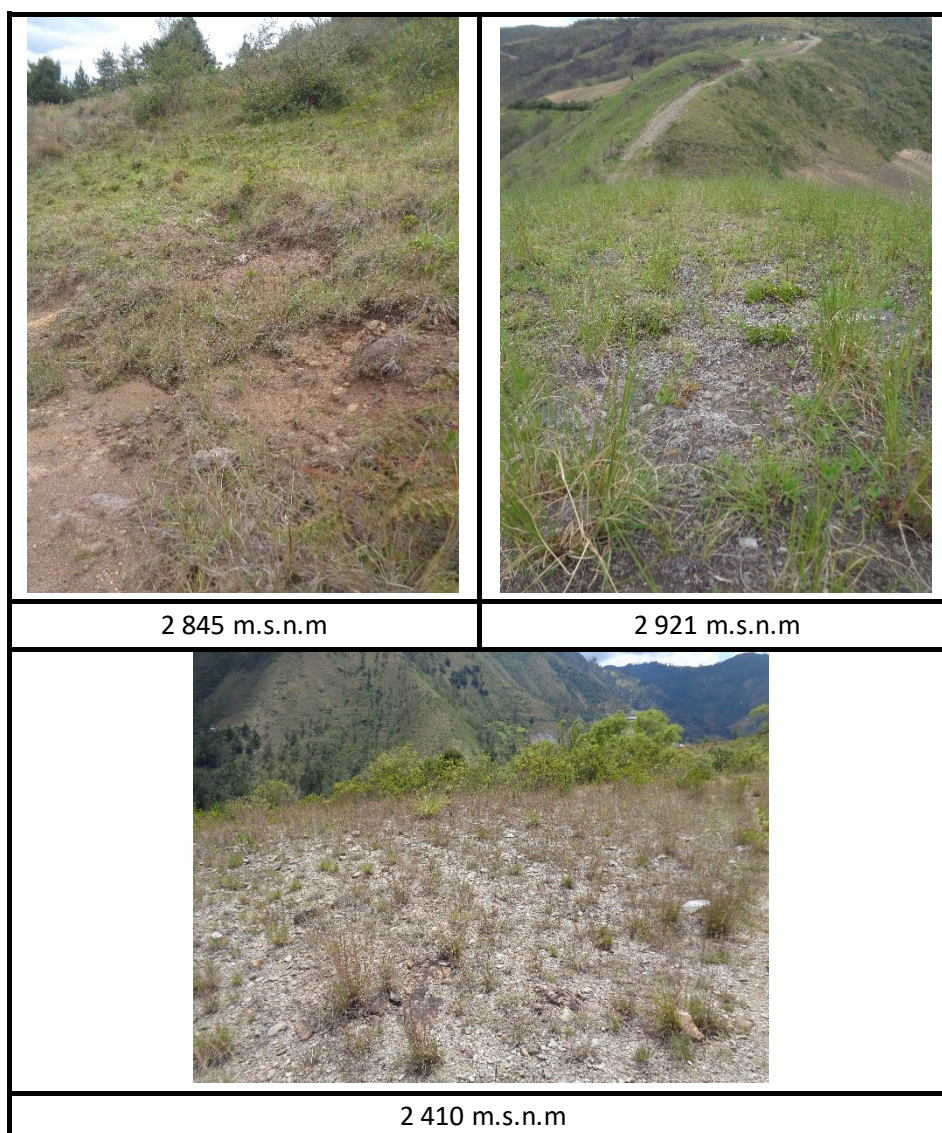
Imagen 5: Ganadería en el cerro Mishquiyacu



Elaborado por: Autor, 2021.

Suelos degradados: Los suelos en los cuales se puede observar una degradación ya sea por procesos de pérdida del horizonte fértil o en donde los procesos de sucesión ecológica están parados, debido a que no se han podido establecer especies pioneras o arbóreas nativas, fueron en algún momento utilizados para pastoreo o agricultura. Estos suelos, por lo observado en campo, al tener el antecedente de que ninguna especie de árbol o arbusto se ha desarrollado sobre estos. Es muy probable que carezcan de nutrientes como fósforo y nitrógeno, materia orgánica y también puedan tener deficientes condiciones físicas mecánicas (Wall y Ferrari, 2004). Estos suelos degradados posiblemente con el tiempo empezaran a erosionarse por la escasa cobertura vegetal que poseen, como se visualiza en la Imagen 6.

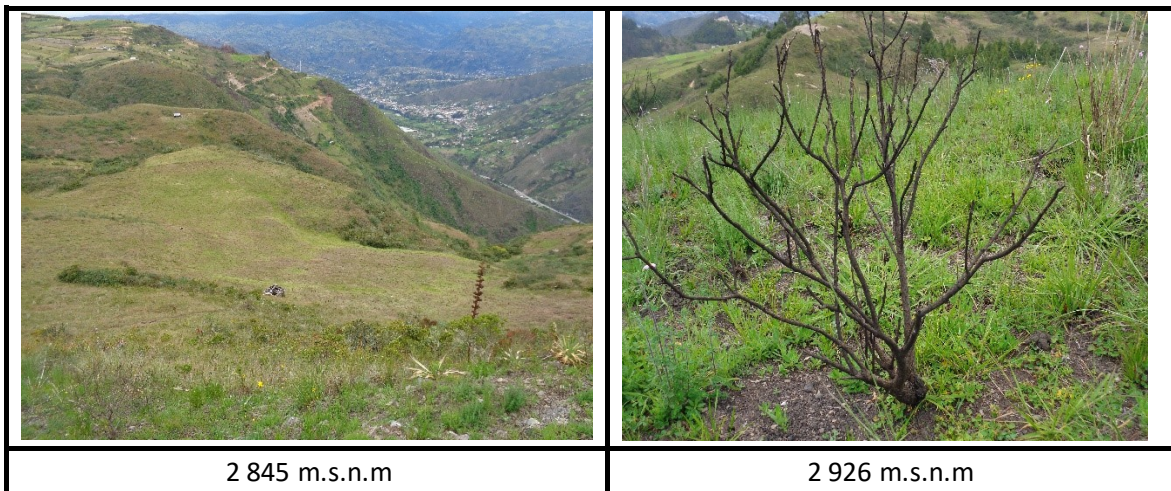
Imagen 6: Suelos en proceso de degradación



Elaborado por: Autor, 2021.

Expansión de la frontera agrícola: Los pobladores que viven en las comunidades aledañas al cerro han expandido la frontera agrícola con la destrucción de bosque nativo en la parte alta del cerro Mishquiyacu, con la finalidad de introducir pastizales para desarrollar pastoreo. Para llevar a cabo esto, se realizaron incendios controlados para de esta manera retirar la vegetación nativa que existía en la zona. Éste es un tensionante para los ecosistemas que se ven continuamente presionados con estas actividades. En la Imagen 7 se observa lo antes mencionado.

Imagen 7: Expansión de la frontera agrícola



Elaborado por: Autor, 2021.

Infraestructuras antropogénicas: Se han observado infraestructuras que dejaron los antiguos pobladores del sector que funcionan como factores tensionantes los cuales no dejan que la regeneración natural se desarrolle por si sola (ver Figura 4). Entre estos pasivos ambientales se encuentran casas, cerramientos, reservorios de agua, caminos y cableado eléctrico, como se observa en la Imagen 8.

Imagen 8: Infraestructuras antropogénicas

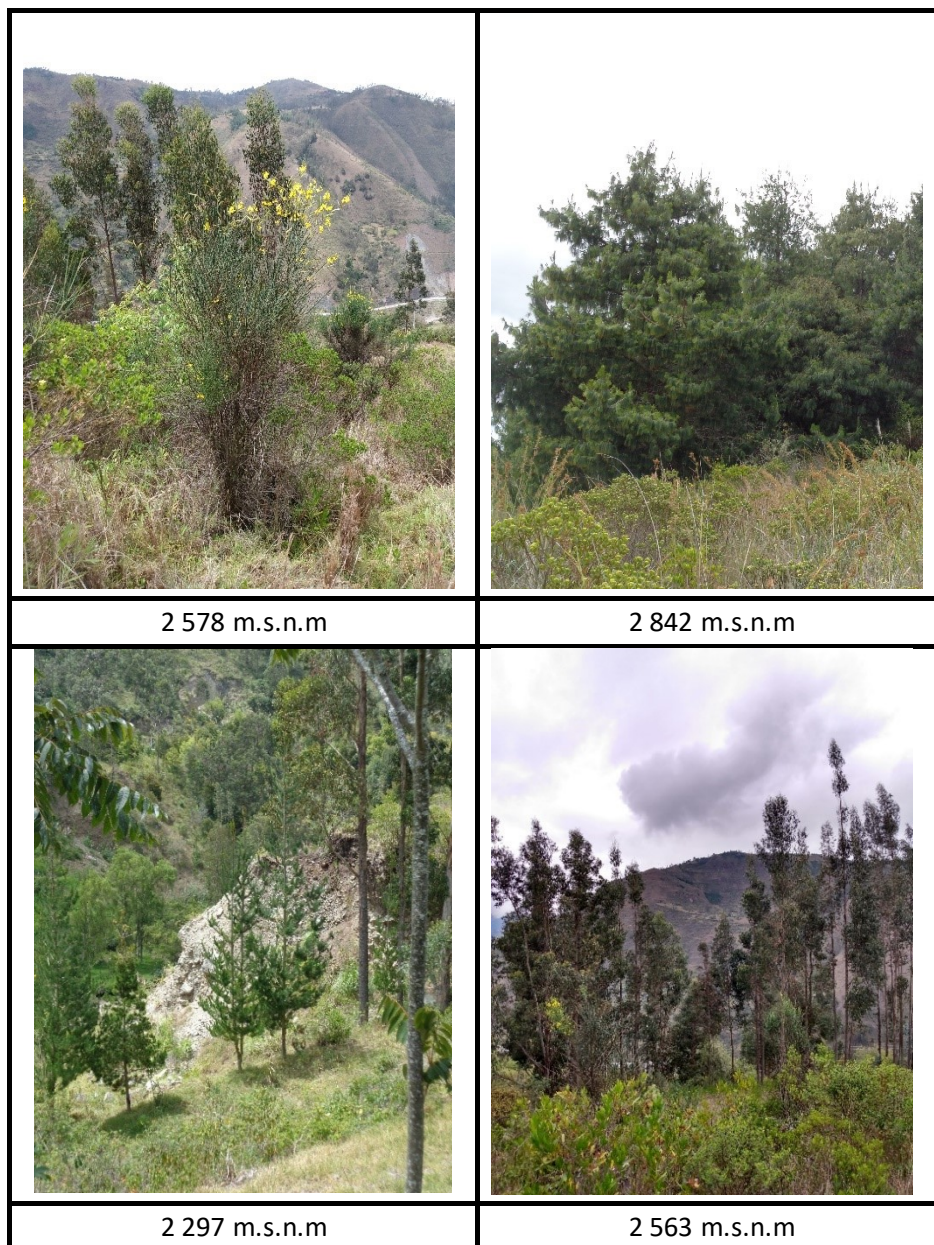


Elaborado por: Autor, 2021.

Especies exóticas introducidas: Las especies exóticas en el cerro Mishqiyacu están distribuidas en gran parte de su territorio, en donde especies como el pino (*Pinus patula*) y el eucalipto (*Eucalyptus globulus*) ocupan una superficie de 2,43 hectáreas, lo que equivale al 1,93% de su territorio (ver Gráfico 7), además de estas

especies, se encuentran el ciprés (*Cupressus sempervirens*) y retama (*Cytisus monspessulanus*) en una menor, pero importante proporción en el área de estudio, como se observa en la Imagen 9. Los pinos se encuentran en mayor concentración en la zona norte, en donde se diferencia un pequeño bosque, y los eucaliptos en la zona central y sur (ver Figura 4). Algo para tomar en consideración es una posible dispersión de semillas, por el motivo de que se ha observado plantas hijas en proceso de desarrollo. Estas no pudieron ser plantadas porque se las encontró en zonas de difícil acceso y no hay habitantes en el lugar. Por lo que con el tiempo estas especies exóticas podrán desplazar a las especies nativas.

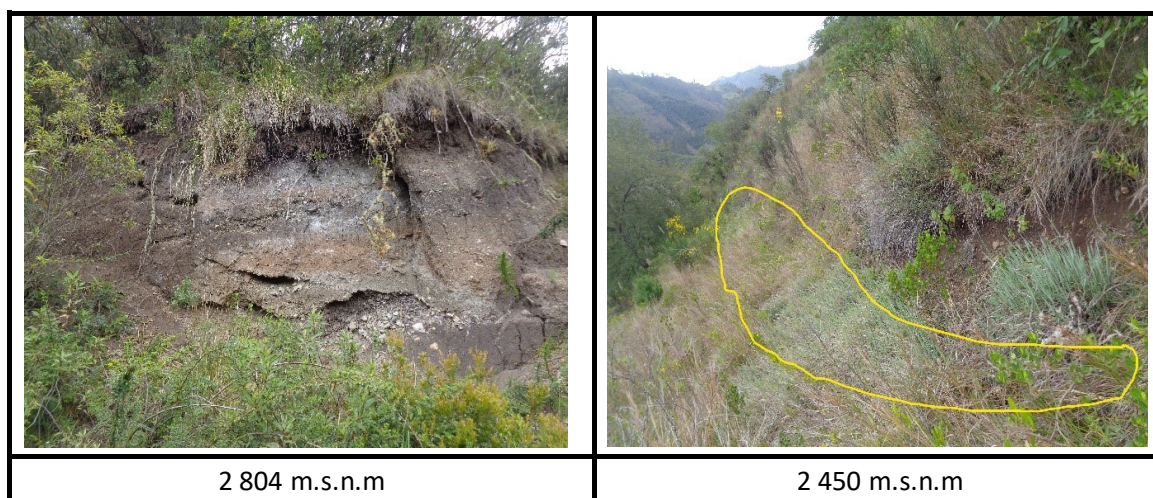
Imagen 9: Especies introducidas



Elaborado por: Autor, 2021.

Movimientos de masas: El cerro Mishquiyacu tiene antecedentes de haber sufrido movimientos de masas, en el cual la masa de tierra que alguna vez se deslizó cubre un 37,64% de su territorio actual (ver Gráfico 9). Lo que indica que este cerro tiene una probabilidad elevada de que vuelva a ocurrir un evento que incluya un macro deslizamiento. El 42,71% y 3,26% de su territorio tiene una alta y muy alta probabilidad respectivamente, de que ocurra un deslizamiento (ver Gráfico 11). A lo largo de los recorridos que se hicieron se han ido detectando áreas con pequeños movimientos de masa, como se observa en la Imagen 10, en la que se señala con una línea amarilla la masa de tierra que se ha desplazado. Se presume que las pendientes fuertes y las características litológicas del suelo, dieron paso a estos micro deslizamientos, influyendo de manera indirecta las condiciones climáticas.

Imagen 10: Movimientos de masas



Elaborado por: Autor, 2021.

5.4.3 Definir escalas y niveles de organización.

Para establecer los objetivos de la propuesta de restauración es de gran importancia primero precisar las escalas espaciales y los niveles de organización. Al mismo tiempo es importante que el proyecto tenga una visión integradora de las diferentes escalas, independientemente del nivel de organización al cual se establezca (Vargas, 2007). Para lo cual se estableció objetivos de trabajo a escala local, en función del tamaño del cerro Mishquiyacu, y a nivel de organización ecosistémica.

El nivel ecosistémico lo que busca es que las condiciones ecológicas vuelvan a como fueron antes de las perturbaciones antropogénicas. Asegurando la

regeneración de la composición, estructura y función del ecosistema, integrando los procesos de pequeña escala con los de gran escala. Por otro lado, es importante incluir una visión general a escala de paisaje, ya que las funciones ecosistémicas están relacionadas con flujos de organismos, materia y energía entre las diferentes unidades del paisaje. Buscando también de esta manera una reintegración de los ecosistemas fragmentados (Vargas, 2007).

A continuación, se presentan los objetivos de la propuesta de restauración ecológica:

- Plantear estrategias de restauración ecológica activa en las áreas degradadas del cerro Mishqiyacu en las cuales exista una alta prioridad de intervención.
- Plantear estrategias de restauración ecológica pasiva en las áreas degradadas del cerro Mishqiyacu en las cuales exista una baja prioridad de intervención.
- Proponer la reintegración de los parches de bosque nativo que se encuentran fragmentados mediante la reforestación con especies nativas y la creación de biocorredores.

5.4.4 Caracterización de los disturbios.

Ciertos disturbios forman parte de la dinámica de los sistemas naturales, pero en el cerro Mishqiyacu las actividades humanas han provocado que varias zonas del ecosistema retrocedan a un estado de sucesión anterior. Este daño causado por los disturbios antropogénicos, se ve ligado a la escala espacial y temporal a la cual sucede, dependiendo de su intensidad, el nivel de afectación del ecosistema y a su vez repercutiendo en el modo de su organización (Vargas, 2007).

El régimen de disturbios que se suscitan en el área de estudio, son el resultado de una interacción de los factores climáticos, geomorfológicos, geológicos y cambios de uso de suelo que se han venido dando con el pasar de los años. Por lo tanto, se realizó una caracterización a manera general de los disturbios de acuerdo a parámetros como su origen, dimensión espacial, temporal y magnitud, como se muestra en la Tabla 33.

Tabla 33: Caracterización de los disturbios en el cerro Mishquiyacu

Clasificación	Dimensión	Descripción
Por su factor de origen	Natural y Antrópico	Los disturbios en el área de estudio son provocados por actividades humanas y procesos propios de la naturaleza.
Por la dimensión espacial	Grande	La zona que necesita mayor intervención cubre un área de 15,27 ha.
Por su magnitud	Grave	Esto se debe a que los servicios y funciones del ecosistema han sido modificados.
Por la dimensión temporal	Recurrente	Se han registrado quemas para sembrar más pastos para ganadería, pero no es una práctica que se realice siempre.
	Continuo	El pastoreo intensivo aún se sigue realizando en algunas áreas del cerro y en parches de bosque nativo y matorral.

Elaborado por: Autor, 2021.

Los disturbios en el cerro Mishquiyacu tienen un régimen complejo, para lo cual se los clasificó de la siguiente manera:

- Disturbios naturales: precipitaciones, vientos y movimientos de masas.
- Disturbios antrópicos: pastoreo intensivo; pastizales; quemas; carreteras de acceso (obra civil); casas, postes de luz, tanques de agua, tuberías y cerramientos; y, especies vegetales exóticas introducidas.

5.4.5 Establecer las barreras a la restauración.

Se identificaron aquellos elementos que limitan los procesos naturales de sucesión en las áreas degradadas, estas barreras a la restauración en el cerro Mishquiyacu se dividieron en ecológicas y socioeconómicas. Los factores tensionantes que provocan las barreras a la restauración, son los siguientes: pastoreo intensivo, quemas, construcción de obras civiles, introducción de especies, pastizales e infraestructuras antrópicas.

En la Tabla 34 se exponen las barreras ecológicas a la restauración, las cuales tienen que ver directamente con los mecanismos de colonización y

regeneración de las especies vegetales en el área de estudio, por lo que se tiene en consideración el desarrollo de la dispersión de propágulos, el establecimiento de las plántulas y la persistencia de los individuos y las poblaciones (Vargas, 2011). En donde los principales factores tensionantes son la matriz continua de pastos, predación de semillas y plántulas, presencia de especies invasoras, animales herbívoros, competencia con otras especies, restricciones climáticas, pastoreo, desbroce de vegetación y fuegos antrópicos.

Tabla 34: Barreras ecológicas a la restauración en el cerro Mishquiyacu

Fase	Factores Tensionantes			Consecuencias o efectos
	Bióticos	Abióticos	Sociales	
Dispersión	Corta longevidad de semillas y germinación impedida			Las semillas al no poder dispersarse causan que el proceso de sucesión natural se detenga y las especies nativas no se expandan más allá de sus parches de bosque.
	Ausencia de plantas niñeras, nodrizas o plantas facilitadoras			
	Predación de semillas			
	Matriz continua de pastos que impide la regeneración			
Establecimiento	Ausencia de micrositios para el establecimiento de plántulas	Restricciones climáticas (sequías y heladas)		Las barreras al establecimiento lo que provocan es que las plántulas no sobrevivan y las semillas no puedan germinar. Esto causa cambios en la composición y estructura de la vegetación.
	Presencia de animales herbívoros (vacas)	Suelo inadecuado (erosión, compactación, ausencia de nutrientes y pérdida de materia orgánica)		
	Competencia con otras especies vegetales			

Persistencia	Presencia de especies invasoras	Restricciones climáticas (sequías y heladas)	Pastoreo intensivo	Las especies vegetales establecidas al enfrentar estas barreras a la restauración corren el peligro de morir o que su biomasa sea disminuida por lo tanto causara que no se efectúe la reintegración de los parches de bosque fragmentado.
	Presencia de animales herbívoros (vacas)		Fuego antrópico	
	Competencia con otras especies vegetales	Desbroce de la vegetación		
		Introducción de especies invasoras		

Elaborado por: Autor, 2021.

Las barreras socioeconómicas a la restauración son aún más complejas de analizar, ya que para empezar hay que considerar la voluntad política, pues el constante cambio de autoridades y la priorización de otros proyectos más urgentes por sobre proyectos de restauración pesan a la hora de tomar cartas sobre el asunto. Otro factor que va ligado al político es el económico debido a que los proyectos de restauración ecológica presentan costos notables por la razón de que, si se quieren hacer con éxito, su realización es proyectada a mediano y largo plazo pues toman mucho tiempo en ser implementados; además, los presupuestos que manejan las autoridades dependen en gran medida de la situación económica del país. Como ejemplo tenemos los procesos de expropiación que llevo a cabo el Ministerio del Ambiente en la zona 1 de la Josefina, que en su mayoría se realizaron entre los años 2010 y 2012, cuando el barril de petróleo rondaba o sobrepasaba los 100 dólares y el Estado tenía dinero para financiar estas actividades.

Por otro lado, están las comunidades de las inmediaciones del cerro Mishquiyacu, mismo que es afectado por todas las actividades que se realizan, como por ejemplo la ganadería y ampliación de la frontera agrícola. Todos estos factores tensionantes que limitan la restauración y sucesión natural son provocados por una conjunción de factores sociales que a la final siguen deteriorando las funciones y servicios del ecosistema.

5.4.6 Zonificación de los sitios a restaurar.

Se identificaron dentro de las áreas con alta prioridad de intervención, zonas en las que se propondrán estrategias distintas de restauración, por el motivo de que el cerro Mishquiyacu tiene variados rangos de pendientes y diferentes usos y coberturas del suelo. Por tal motivo se utilizaron estas dos variables para realizar la zonificación de los sitios.

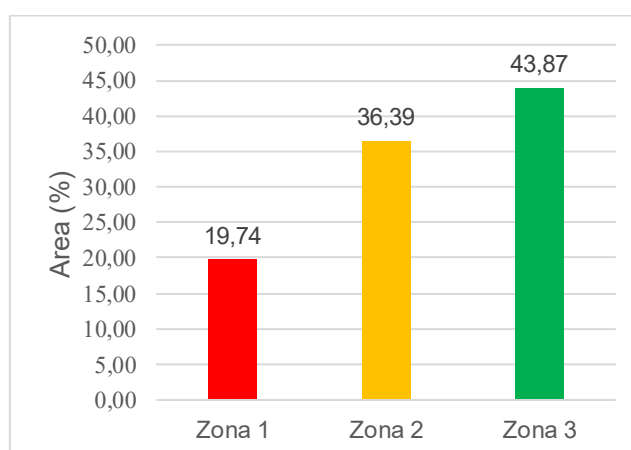
En la Tabla 35 y Grafico 13, se aprecia como resultado, las áreas que corresponden a cada zona, en donde la zona 3 es la que más superficie cubre, dentro de los sitios con alta prioridad de intervención, con unas 5,98 ha, lo que equivale a un 43,87 % de su área total. En cambio, la zona 2 ocupa 4,96 ha, lo que representa un 36,39 % de su territorio. Por el contrario, la zona 1 es la que menos área tiene con unas 2,69 ha, equivaliendo al 19,74 %. También se puede observar que el área total que es de 13,64 ha es menor al área de alta prioridad, esto es debido a que no se tomó en consideración las carreteras, ya que para estas se propondrá otra clase de manejo.

Tabla 35: Zonificación de los sitios a restaurar

Zona	Pendientes (%)	Área (ha)	%
1	Mayores a 50	2,69	19,74
2	30 a 50	4,96	36,39
3	0 a 30	5,98	43,87
Total		13,64	100

Elaborado por: Autor, 2021.

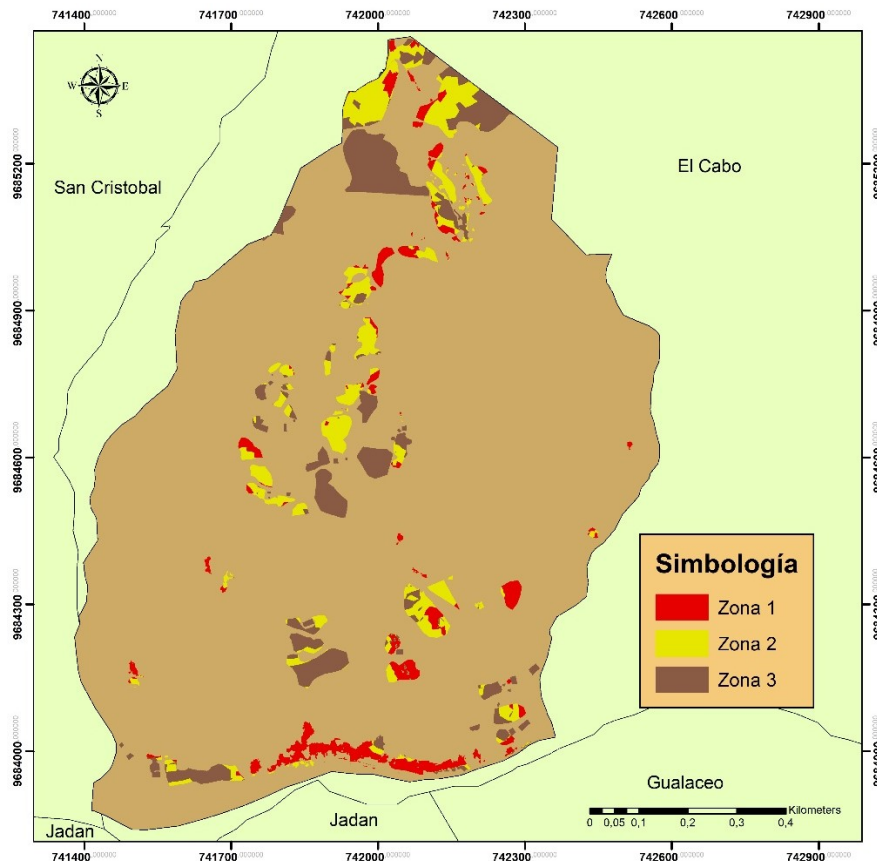
Gráfico 13: Zonificación de los sitios a restaurar



Elaborado por: Autor, 2021.

En la Figura 16, se visualiza la distribución de las zonas que fueron clasificadas según su pendiente y cobertura. Estas áreas están ubicadas en la parte norte, central y a lo ancho de la parte sur. La zona 1 ocupa un área de 2,69 ha, la zona 2 tiene una superficie de 4,96 ha y la zona 3 al ser la más extensa, cubre un área de 5,98 ha. Estas forman parte de los sitios con una alta prioridad de restauración.

Figura 16: Zonificación de las áreas con alta prioridad de restauración



Elaborado por: Autor, 2021.

Los usos y coberturas del suelo que conforman cada zonificación son de vital importancia, debido a que, para plantear las estrategias para cada zona se deberá basar en estos, ya que se tomará en consideración que clase de uso y cobertura tendrá cada área. No es lo mismo restaurar un pastizal que una área sin cobertura vegetal. Además de esto, las pendientes también serán un factor predominante al momento de realizar las propuestas, pues a mayor pendiente más importancia se le dará para la restauración.

En la Tabla 36, observamos primero que la zona 1 (ver Figura 17) está compuesta por pendientes mayores a 50% en las cuales se asientan las áreas sin cobertura vegetal y pastizales con 1,53 ha y 1,16 ha respectivamente; segundo, la zona 2 (ver Figura 18) compuesta por pendientes entre el rango de 30 a 50 % de inclinación, asentándose las áreas sin cobertura vegetal y pastizales con 1,13 ha y 3,84 ha respectivamente; tercero, la zona 3 (ver Figura 19) compuesta por pendientes entre el rango de 0 a 30 % de inclinación, la cual contiene a las plantaciones forestales, estructuras antrópicas abandonadas, carreteras, pastizales y áreas sin cobertura vegetal. En esta zona los pastizales cubren la mayor parte del área con 2,69 ha y las estructuras antrópicas abandonadas son las que menos área ocupan con 0,25 ha. Todas estas zonas se encuentran a una altura de entre los 2 265 a 2 935 m.s.n.m por lo que al momento de seleccionar las especies vegetales para la reforestación se deberá de tomar en cuenta el factor altitud.

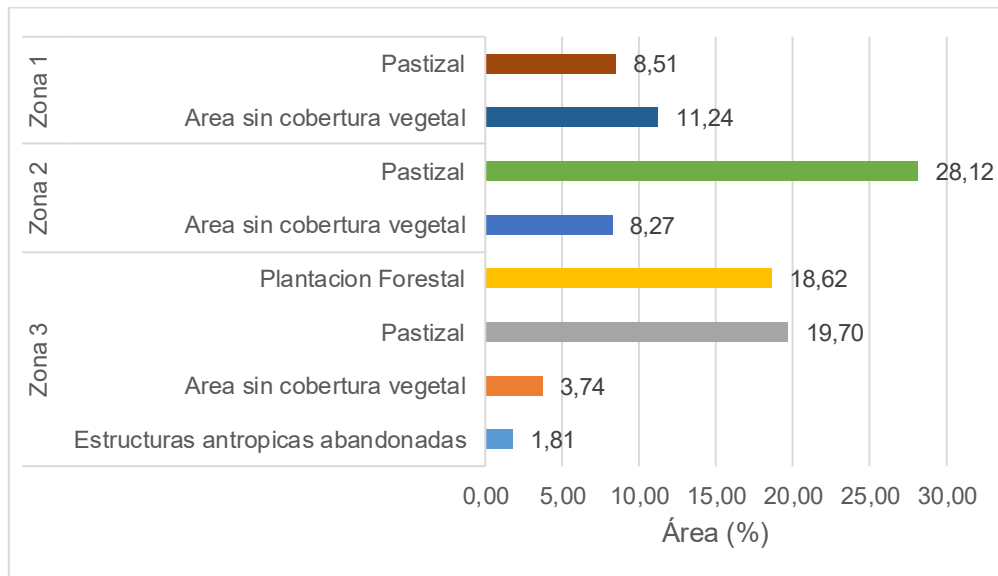
Tabla 36: Coberturas que conforman cada zonificación

	Uso y cobertura	Área (ha)	%
Zona 1	Área sin cobertura vegetal	1,53	11,24
	Pastizal	1,16	8,51
Zona 2	Área sin cobertura vegetal	1,13	8,27
	Pastizal	3,84	28,12
Zona 3	Estructuras antrópicas abandonadas	0,25	1,81
	Área sin cobertura vegetal	0,51	3,74
	Pastizal	2,69	19,70
	Plantación Forestal	2,54	18,62
Total		13,64	100,0

Elaborado por: Autor, 2021.

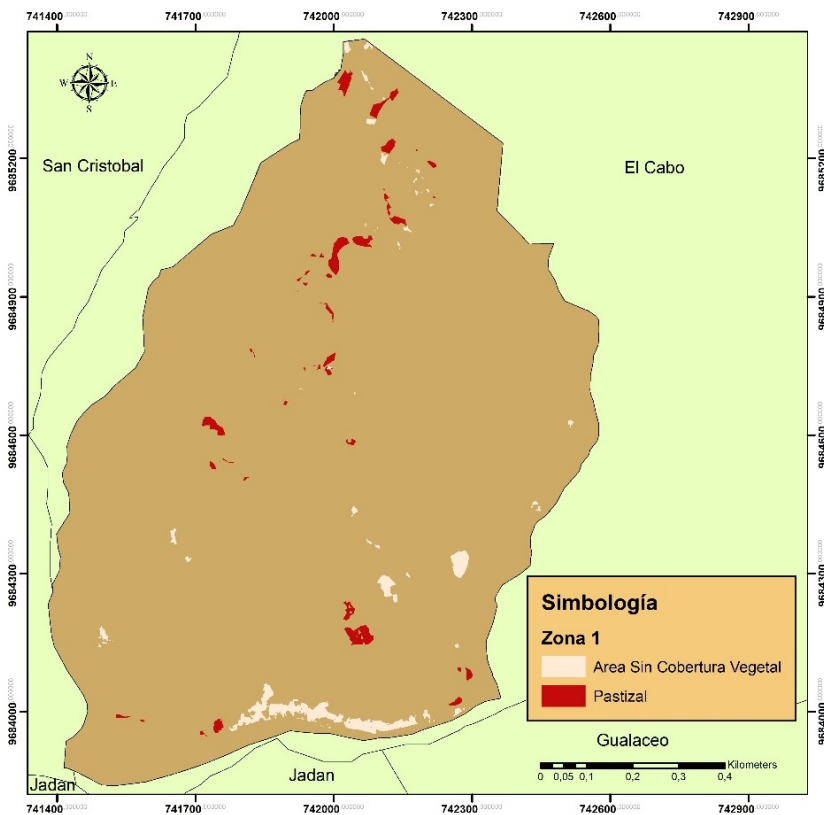
En el Gráfico 14, se muestra de manera porcentual la superficie que ocupan las coberturas que conforman cada zonificación en el cerro Mishquiayacu, donde el pastizal en la zona 2 es el que más área tiene con un 25,12 % del territorio de los sitios con alta prioridad, indicando que la mayoría de los pastos se encuentran en pendientes entre 30 a 50%. Por el contrario, las estructuras antrópicas abandonadas en la zona 3 contemplan solo un 1,62 % del área, siendo las que menor superficie ocupan.

Gráfico 14: Coberturas que conforman cada zonificación



Elaborado por: Autor, 2021.

Figura 17: Mapa de la zona 1



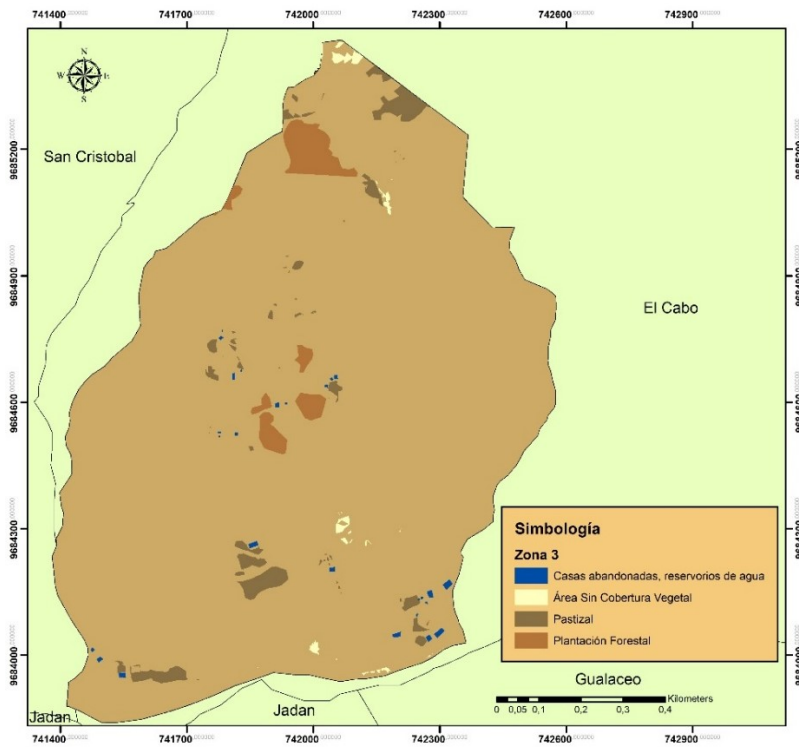
Elaborado por: Autor, 2021.

Figura 18: Mapa de la zona 2



Elaborado por: Autor, 2021.

Figura 19: Mapa de la zona 3



Elaborado por: Autor, 2021.

5.4.7 Participación comunitaria.

La participación de las comunidades que están en las zonas aledañas a los proyectos de restauración, es de gran importancia para que éstos puedan tener resultados satisfactorios; pues ponen las barreras o impedimentos para restaurar y conservar los ecosistemas naturales, son principalmente los sistemas sociales (Vargas, 2007). Las poblaciones locales tienen vital importancia en la restauración ecológica pues son las que deben garantizar la preservación de estos programas, pues estos proyectos suelen tener extensas duraciones y su éxito solo puede medirse a mediano y largo plazo (Vargas, 2011).

En el cerro Mishquiyacu los sistemas sociales están relacionados con los sistemas naturales pues dependen de estos para subsistir, por lo que para gestionar cualquier forma de intervención en esta área es necesario tomar en cuenta siempre el factor socioeconómico (Vargas, 2007). Por lo tanto, el apoyo social a un eventual proyecto de restauración en este sitio es muy importante para su realización, en donde la comunidad tiene que verse identificada con la visión y el alcance del mismo, siendo clave el que se sientan identificados para que de esta manera se tenga legitimación y aceptación (Vargas, 2011); otro factor importante debe ser la divulgación entre las comunidades locales de las actividades que se desean desarrollar en el lugar (Vargas, 2007).

En el sector también hay que tomar en cuenta las actividades económicas que los habitantes tengan como sustento de vida, en este caso la ganadería, pues al proponer un futuro programa de restauración, esta sería una forma de medir que tan reacios pueden llegar a ser para aceptar las medidas que se propongan, ya que las comunidades locales pueden desear otras condiciones para su futuro (Vargas, 2011).

De igual manera los conocimientos ancestrales que las comunidades locales poseen sobre el ecosistema del cerro Mishquiyacu deben ser valorados e incluidos en el desarrollo del proyecto para poder ser aprovechados (Vargas, 2007). Al tener una comprensión de primera línea acerca del comportamiento del ecosistema, plantas y animales, las personas que viven en las inmediaciones pueden ser de gran ayuda para el manejo de las áreas degradadas del lugar (Vargas, 2011).

En caso de que se dé un futuro plan de restauración ecológica, al momento de ser ejecutado, debería ser planteado como una fuente de trabajo para las poblaciones locales en el cual ayuden en el desarrollo y manejo del proyecto con sus conocimientos. Buscando de manera paralela que se eleven sus ingresos económicos y por otro lado se sustituya a las actividades económicas que estos ya no podrán realizar en el lugar porque afectan a los procesos de sucesión ecológica (Vargas, 2007).

Es imprescindible que las instituciones del estado involucren de manera directa a la comunidad local, ofreciendo incentivos económicos justos en los que su trabajo sea reconocido en concordancia con las áreas conservadas y restauradas (Vargas, 2007). Los habitantes del sector como ya se sabe, conocen cada detalle del área de estudio y por consiguiente son los mejores para que, con apoyo y asesoramiento de instituciones como el MAAE, sean contratados para fungir como personal que de mantenimiento y un manejo adecuado al ecosistema (Vargas, 2011). Todas estas personas básicamente al estar asentadas cerca del cerro Mishquiyacu pueden servir al mismo tiempo de cuidadores y personal de primera línea que pueda responder ante emergencias como, por ejemplo: quemas para ampliar la frontera agrícola.

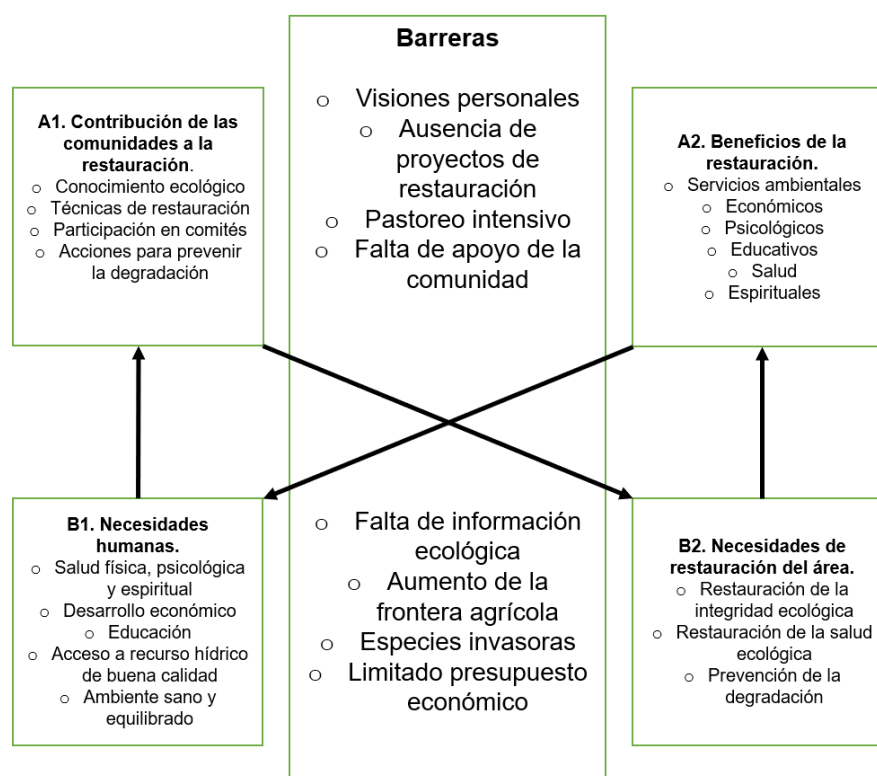
La restauración ecológica es capaz de recuperar servicios esenciales del ambiente como lo son la provisión de agua, formación de suelo fértil, reciclado de nutrientes, polinización, regulación del clima y fijación de CO₂, entre otros. De tal modo se hace lógico pensar que las comunidades o personas que conserven y restauren los servicios ecosistémicos sean recompensados económicamente (Vargas, 2011).

Como antecedente a estas estrategias sociales, mencionadas anteriormente, para incluir a la comunidad local en el proyecto de restauración, se tiene el proceso de expropiación que realizó el PRAS. En el cual primero se dio conocimiento a las personas que moraban el cerro Mishquiyacu sobre los peligros que existía el seguir viviendo en la zona pues hay una alta probabilidad de que ocurran movimientos de masas; segundo, se negoció con los dueños de los terrenos un precio justo por sus propiedades pues se necesitaba que abandonen el área de estudio para precautelar su seguridad, ya que en ese entonces unas 50

personas aproximadamente vivían en el lugar. Estas negociaciones en ocasiones se tornaron complicadas, pero en la mayoría de casos fueron fructíferas, teniendo un precedente, los habitantes del sector, sobre el cómo tratar con instituciones estatales como el MAAE (MAAE, 2020a).

Para tener una idea aproximada como todos los participantes del proyecto de restauración pueden salir beneficiados a través de una óptima cooperación, en el Gráfico 15 se presenta una adaptación del modelo recíproco de restauración propuesto por (Vargas, 2007). En éste se muestra al inicio a A1 como la contribución de las comunidades a la restauración; B1 las necesidades humanas; A2 los beneficios de la restauración; y finalmente, B2 que son las necesidades de restauración de la zona. A1 y B2 es la relación que tienen las comunidades locales con el aporte de sus conocimientos para restaurar un área degradada; por otro lado, la relación A2 y B1 que indica el bienestar que puede ser generado por los beneficios provocados por la restauración. En la mitad del modelo recíproco están las barreras que pueden accionar como impedimentos para que se desarrollen las relaciones entre los beneficios, contribuciones y necesidades de la restauración. Por ejemplo, una comunidad local puede tener intenciones de restaurar una zona degradada, pero al no existir (barrera) un plan de restauración por parte de los organismos encargados de aquello, será difícil que se lleve a cabo. Por el contrario, si es que la comunidad no está de acuerdo con que se desarrolle un plan de restauración, será complicado cumplirlo (Vargas, 2007).

Gráfico 15: Modelo recíproco de restauración



Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (Vargas, 2007).

5.4.8 Estrategias para la restauración ecológica.

a. Estrategias activas de restauración ecológica.

Enmiendas para mejorar las condiciones del suelo.

Esta es una estrategia para recuperar los suelos que están degradados o en proceso, siendo las áreas a las que se dirige esto, las identificadas como pastizales o áreas sin cobertura vegetal, dentro de las cuales se excluirá a las que estén en la zona 1 con pendientes mayores a 100% (45°) pues tendrán otro tratamiento. Las enmiendas recomendadas para utilizar en la restauración ecológica, son las orgánicas pues mejoran las condiciones físico-químicas y microbiológicas del suelo, además de que aumentan los micronutrientes y macronutrientes que las plantas necesitan para su desarrollo (Murillo, Mendoza y Fadul, 2019).

Se pueden mencionar varias enmiendas orgánicas que pueden ser empleadas en el suelo entre las cuales están primero, los abonos verdes que son el resultado de adicionar subproductos vegetales (troncos, ramas, frutas, aserrín, hojas, entre otros.) directamente al suelo, estos poseen una elevada relación entre carbono y nitrógeno, suministrando éste último, entre un 20 a 80 % de lo que

necesita el suelo en su totalidad, aumentando la presencia microbiana y contribuyendo a disminuir los daños de la erosión; segundo, el Biochar, mismo que contiene carbono lábil que sirve para obtener un suelo fértil, ya que mejora la asimilación de nutrientes y aumenta la capacidad de retención del agua, al estabilizar los micro y macro agregados del suelo, mejorando a su vez sus capacidades biológicas y fúngicas; tercero, la adición de estiércol, esta enmienda puede funcionar como un complemento a otras enmiendas orgánicas por la razón de que estabiliza los suelos e incentiva la presencia microbiana, porque al ser adicionado a residuos compostados, aporta macronutrientes como P, N, K, Ca y Mg; cuarto, el vermicompost es una excelente opción, pues al contener ácidos húmicos y fúlvicos promueven la reducción de la lixiviación y mejoran la capacidad de retención de agua (Murillo et al., 2019). Para finalizar, otra enmienda orgánica que sirve para recuperar suelos, son los lodos de depuración, los cuales se obtienen de las aguas residuales con cantidades por lo general considerables de humedad, materia orgánica y nutrientes como P, N y K, pero que para ser utilizados, se deben realizar análisis en los cuales se determine su composición exacta de minerales y metales pesados (Vargas, 2011). Todos estos abonos orgánicos deben ser considerados como una estrategia previa a efectuar la reforestación, ya que es primordial, antes de eso, adecuar los suelos para que sean aptos al momento de albergar especies vegetales nativas, posibilitando más su supervivencia en etapas tempranas.

Descompactación mecánica del suelo.

Es una técnica muy utilizada cuando se encuentran suelos compactados, generalmente causado por el continuo pisoteo de animales de gran tamaño como vacas, esto trae consigo problemas como una disminución de la porosidad, deficiente infiltración, poca captación de nutrientes y efectos en el estiramiento de las raíces de las plantas (Balboa, 2014). En el cerro Mishquiyacu se han identificado áreas de pastizal en las zonas 1, 2 y 3, evidenciándose presencia de bovinos, para lo cual, esta práctica es recomendada. Por consiguiente, la descompactación se puede llevar a cabo mediante acciones manuales con herramientas de labranza como azadones, picos, barretas y palas, evitando en lo posible la intervención de maquinaria pesada para no compactar más el suelo (Vargas, 2011), esto favorece la aireación del suelo, su infiltración de agua y el crecimiento radical de las especies

vegetales nativas que se desea que crezcan en estas zonas degradadas (Balboa, 2014).

Especies vegetales propuestas para la restauración ecológica.

Las especies vegetales que potencialmente pueden ser aplicadas en los procesos de reforestación y revegetación en el cerro Mishqiyacu se presentan en la Tabla 37. Para elegir las se tomó en consideración que, de preferencia, sean especies nativas y adaptadas al área de estudio (ver Anexo 16). En esta tabla se muestra la principal característica que posee cada especie y el rango altitudinal en el cual se pueden desarrollar dentro del cerro. También se expone la composición de especies, divididas en fases, que corresponden a las sucesiones ecológicas que se desean replicar. Para lo cual en las zonas 1, 2 y 3 se deberá intervenir con estas especies conforme las condiciones del terreno lo requieran. Sirviendo como referencia a seguir para una posible restauración ecológica en el futuro.

Para empezar, la fase 1 comprende especies herbáceas y arbustivas (ver Tabla 37) que entre sus principales características están: un crecimiento acelerado, adaptación a suelos pobres, fácil dispersión de semillas, desarrollo en altas pendientes, fijación del suelo en laderas y aptitud pionera. Aunado a esto son importantes para colonizar lugares desprotegidos y abiertos, ya que producen semillas en grandes cantidades, las cuales mantienen su viabilidad por bastante tiempo, colonizando áreas extensas e incorporando materia orgánica en el suelo al morir, pues su ciclo de vida es corto (Linares, 2000). Se recomienda se utilicen solo especies de la fase 1 en las áreas que cuenten con pendientes mayores a 37.3% (75°) de inclinación, con suelos no consolidados, que posean rocas meteorizadas y fracturadas.

En la fase 2 se encuentran las especies arbustivas (ver Tabla 37), que entre sus principales características están: establecerse en suelos con pocos nutrientes, mantienen la humedad del suelo, atraen aves e insectos polinizadores, crecen rápidamente, resisten sequías, se desarrollan en suelos compactados, se establecen en suelos erosionados y rocosos, planta facilitadora o nodriza, controlan plagas y pueden establecerse en pendientes fuertes. Ahora bien, estas especies tienen una vida más larga y un tamaño mayor que las de sucesión temprana. Se las deberá utilizar cuando las herbáceas y arbustivas de la fase 1 hayan alcanzado

un cierto grado de adaptación y desarrollo, ya que el suelo tendrá mejores condiciones. Estas especies arbustivas no soportan muy bien la sombra, las cuales poseen una capacidad fotosintética intermedia (Linares, 2000).

Para finalizar, la fase 3 está compuesta por las especies arbóreas (ver Tabla 37), que tienen como características principales las de incorporar nitrógeno en el suelo, soportar y recuperar suelos erosionados, mantener cohesionado el suelo, regenerar suelos degradados, prosperar en pendientes fuertes, reproducirse rápidamente, adaptarse a suelos rocosos y atraer polinizadores. Estas especies pueden alcanzar portes altos y superar los 100 años de edad, soportando bien la sombra; atributos importantes pues lo que se desea es que conformen estructuras duraderas y sólidas, sobre todo madera y corteza (Linares, 2000). Lo que se busca lograr con el crecimiento de estas, es que el ecosistema se estabilice y se autorregule (D. García, 2016). Para esta fase lo que se recomienda es que se intervengan con árboles, en las zonas 1, 2 y 3, cuando los arbustos se hayan desarrollado y adaptado a las condiciones del entorno.

Tabla 37: Especies propuestas para la restauración ecológica

	Especie	Nombre común	Principal característica	Rango altitudinal m.s.n.m
Fase 1 Herbáceas y Arbustivas Sucesión Temprana	<i>Cortaderia nítida</i>	Sigsal	Crecimiento acelerado	2 270 – 2 800
	<i>Oxalis lotooides</i> Kunth	Ocasacha	Crecimiento acelerado	2 265 – 2 940
	<i>Bomarea multiflora</i> (L. f.) Mirb.	Ishpapurú	Atrae a polinizadores	2 265 – 2 940
	<i>Achyrocline alata</i> (Kunth) DC.	Algodón kiwa	Crecimiento acelerado y fácil dispersión	2 265 – 2 940
	<i>Baccharis genistelloides</i> (Lam.) Pers.	Monte trenza	Se puede utilizar como forraje para fijar suelos desnudos	2 265 – 2 940
	<i>Bidens andicola</i> Kunth.	Ñachig	Atrae insectos polinizadores	2 265 – 2 940
	<i>Critoniopsis huairacajana</i> (Hieron.) H. Rob.	Vacacallo	Mantiene humedad del suelo	2 265 – 2 940
	<i>Lupinus aff. Pubescens</i> Benth.	Tauri del cerro	Sus frutos y semillas sirven como alimento de aves	2 265 – 2 940
	<i>Furcraea andina</i>	Penco	Se adapta a suelos pobres	2 265 – 2 940
	<i>Pennisetum sp.</i>	Paja	Crecimiento acelerado y fácil dispersión	2 265 – 2 940
	<i>Onobrychis viciaefolia</i>	Esparceta	Se da en climas secos y soporta suelos pobres	2 265 – 2 940
	<i>Opuntia vulgaris</i>	Tuna	Se puede desarrollar en alta pendiente	2 265 – 2 940
<i>Baccharis polyanta</i>	Chilca común	Útil para fijar suelos en laderas	2 265 – 2 940	
<i>Equisetum sp.</i>	Cola de caballo	Crecimiento acelerado	2 265 – 2 940	
Fase 2 Arbustos Sucesión Media	<i>Muehlenbeckia tamnifolia</i> (Kunth) Meisn.	Malear	Forma tapetes sobre rocas y focos de erosión	2 265 – 2 940
	<i>Valeriana hirtella</i> Kunth.	Romerillo	Se puede dar en pendientes pronunciadas	2 265 – 2 940
	<i>Ageratina pseudochilcan</i> Benth	Chilca negra	Puede colonizar suelos con pocos nutrientes	2 270 – 2 940
	<i>Salvia corrugata</i> Vahl	Salvia	Atrae aves dispersoras de semillas	2 600 – 2 940
	<i>Monnina pycnophylla</i> B. Eriksen.	Higuila	Mantiene la humedad del suelo	2 400 – 2 900
	<i>Streptosolen jamesonii</i>	Jaboncillo	Crece rápidamente y atrae a aves e insectos	2 300 – 2 500
	<i>Lantana rugosa</i>	Inga rosa	Resiste sequía y puede establecerse en suelo poco profundo	2 600 – 2 900

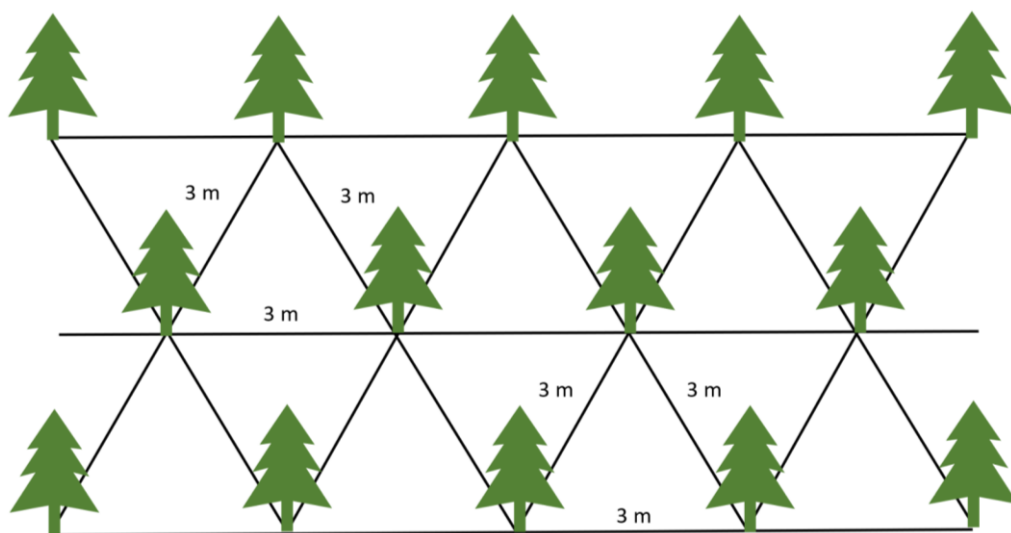
	<i>Barnadesia arborea</i> Kunth	Shiñan	Conserva la humedad del suelo	2 265 – 2 840
	<i>Aristeguetia cacalioides</i> Kunth	Matico	Se desarrolla en suelos compactados y poco profundos	2 265 – 2 800
	<i>Baccharis obtusifolia</i> Kunth	Yadaacuten	Puede desarrollarse en suelos poco profundos	2 300 – 2 920
	<i>Duranta mutissii</i> L.f.	Espino	Puede establecerse en suelos erosionados	2 265 – 2 900
	<i>Croton</i> sp	N/A	Planta facilitadora o nodriza	2 400 – 2 800
	<i>Ferreyranthus verbascifolius</i> (Kunth) H. Rob. & Brettell	Cotac	Contribuye a recuperar suelos	2 450 – 2 850
	<i>Ambrosia arborescens</i> Mill	Altamisa	Importante valor fitosanitario, control de plagas	2 280 – 2 850
	<i>Hesperomeles obtusifolia</i> Pers. Lindl	Cerote	Frutos sirven de alimento para aves dispersoras de semillas	2 500 – 2 900
	<i>Smallanthus</i> sp	N/A	Se desarrolla en suelo poco profundo	2 560 – 2 800
	<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	Crestona	Puede darse en suelos erosionados y con pendientes fuertes	2 265 – 2 940
	<i>Cantua pyrifolia</i> Juss. ex Lam.	Flor del inca	Puede crecer en altas pendientes y atrae polinizadores	2 500 – 2 900
Fase 3 Árboles Sucesión Tardía	<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (Kunth) McVaugh	huahual	Mantiene la humedad del suelo	2 265 – 2 940
	<i>Vallea stipularis</i> L. f.	Chul chul	Regenera el suelo y lo estabiliza	2 500 – 2 940
	<i>Weimannia fagaroides</i> Kunth.	Sarar	Se puede desarrollar en suelos degradados	2 265 – 2 940
	<i>Maytenus verticillata</i> (Ruiz & Pav.) DC.	Dersnian	Regeneración natural buena	2 400 – 2 910
	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth.	Rañías	Facilita la incorporación de nitrógeno en el suelo y se puede desarrollar en suelos erosionados	2 280 – 2 900
	<i>Myrsine dependens</i>	Yuber pequeño	Se puede desarrollar en suelos pedregosos y ayuda a recuperarlos	2 610 – 2 880
	<i>Hesperomeles ferruginea</i>	Jalo	Ayuda a mantener cohesionado el suelo	2 530 – 2 940
	<i>Delostoma integrifolium</i> D. Don	Virgen chilca	Recomendado para reforestar en áreas erosionadas	2 550 – 2 890
	<i>Oreocallis grandiflora</i> (Lam.) R.Br.	Gañal	Ayuda a recuperar suelos degradados o erosionados	2 300 – 2 895
	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Aliso	Puede prosperar en laderas muy inclinadas	2 300 – 2 880

<i>Morella pubescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.)	Laurel	Crece en áreas degradadas y es capaz de reproducirse rápidamente	2 400 – 2 850
<i>Rhamnus granulosa</i> (Ruiz y Pav.)	Ayarambracute	Regenera el suelo y lo estabiliza	2 500 – 2 915
<i>Podocarpus sprucei</i> Parl.	Huabisay	Se puede adaptar a suelos arenosos y rocosos	2 400 – 2 900
<i>Miconia aspergillaris</i> (Bonpl.) Naudin.	Sérrac	Se da en una gran variedad de suelos y atrae a aves	2 400 – 2 870
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	Jacarandá	Puede formar asociaciones con otras especies	2 265 – 2 500

Elaborado por: Autor, 2021.

Una vez establecidas las especies vegetales que posiblemente puedan ser utilizadas en la restauración ecológica se sugiere utilizar para la siembra de las plántulas de la fase 3; no antes. El método conocido como tresbolillo, en el cual la distribución de árboles se deberá hacer de tal forma que conforme un triángulo de lados iguales con una distancia entre plántulas de 3 metros (Gonzalez y Vargas, 1991), como se observa en el Gráfico 16. Para cubrir las 13,64 hectáreas que corresponden a las áreas con alta prioridad, el número necesario de individuos será de 17 489 aproximadamente.

Gráfico 16: Diseño de plantación con el método tresbolillo



Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (Gonzalez y Vargas, 1991).

En el Gráfico 17, se muestra el estado de sucesión del bosque que podría alcanzar cuando se realicen las actividades de restauración y conservación del ecosistema en el cerro Mishqiyacu, aquí se evidencia la dirección por la cual se desea encaminar la restauración ecológica en donde la sucesión temprana está compuesta por especies herbáceas de bajo porte que son sucedidas por las especies arbustivas que componen la sucesión media con portes más elevados y estructuras más resistentes, y finalmente seguidas por especies arbóreas que llegarían con la sucesión tardía en la cual se podrá alcanzar portes mucho más altos consiguiendo una etapa de conservación mayor (D. García, 2016).

Gráfico 17: Posible sucesión del bosque



Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (D. García, 2016).

Posible propagación de especies.

Con lo que respecta a la propagación de las especies vegetales propuestas, se recomienda aumentar la capacidad de reproducción de las plantas para los procesos de reforestación, mediante la construcción de un vivero dentro del área de estudio, puesto que se necesita un número elevado de plántulas o semillas de cada especie para realizar esta actividad. Tomando en cuenta que la propagación vegetativa puede darse de muchas formas, se propone lo siguiente: a) Recurrir a los relictos de bosque nativo para identificar las plantas que tengan una alta producción de semillas para, a posteriori, utilizarlas en la restauración; b) Obtener de los parches de bosque nativo, partes vegetales de las plantas como estacas, esquejes, rizomas, tubérculos, estolones y fragmentos de órganos como tallos y hojas, para enraizarlas, produciendo de esta manera nuevos individuos. Estas alternativas son económicas, a comparación de comprar las especies en un vivero (Vargas, 2007).

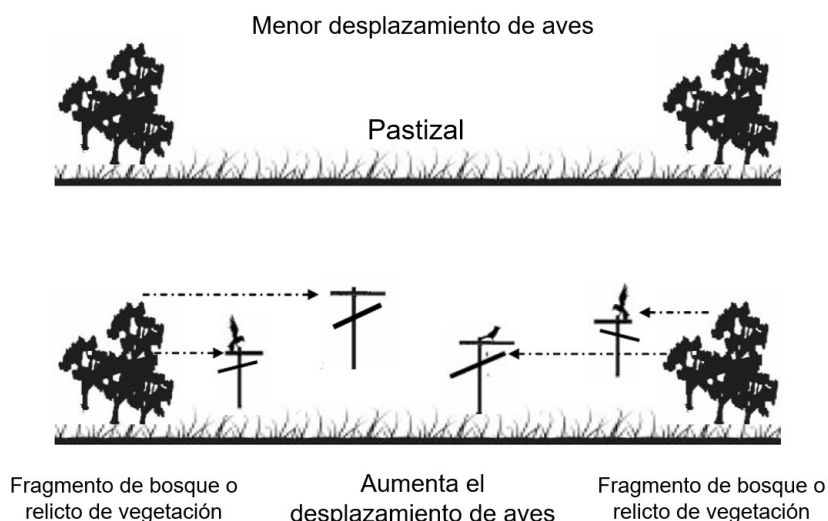
Cuando se obtengan las semillas o las partes vegetales se las debe plantar en un sustrato con condiciones favorables para estimular la producción de raíces y brotación en la parte aérea. No todas las especies tendrán la misma capacidad de enraizar fácilmente por lo que se recomienda el uso de hormonas de crecimiento

como las auxinas que estimulan el crecimiento y división celular (Vargas, 2007). Por otro lado, si las condiciones lo requieren, es importante consultar en los viveros de plantas de la zona si es que las especies que se necesitan para la restauración ecológica están disponibles, que por sentido común contarán con las más conocidas como por ejemplo el aliso.

Utilización de perchas artificiales para aves.

Esta estrategia se deberá utilizarla para las áreas con pastizales en los cuales no se han desarrollado procesos de sucesión ecológica, por estar alejados de los remanentes de bosque nativo, siendo una técnica complementaria a la reforestación y sirviendo como respuesta a la deficiencia de la dispersión de semillas (Vargas, 2007). La zona 2 sería la más apta para aplicar esta técnica pues posee la mayor cantidad y extensión de pastos. Estas perchas artificiales sirven como soporte para que las aves se posen sobre ellas y por medio de esto, defequen sobre el terreno para que esparzan el propágulo o semillas de las cuales se alimentan (ver Gráfico 18). Pueden ser distribuidas por todo el lugar, utilizando como materiales madera o metal, y su tamaño dependerá de los tipos de especies de aves del ecosistema. Por lo general se colocan mantos para recolectar las semillas pues una vez en el suelo pueden ser alimento de hormigas, conejos o ratones; estas semillas recolectadas luego serán sembradas en el mismo lugar o en otros escogidos (Meli y Carrasco, 2011).

Gráfico 18: Percheros para aves en los pastizales



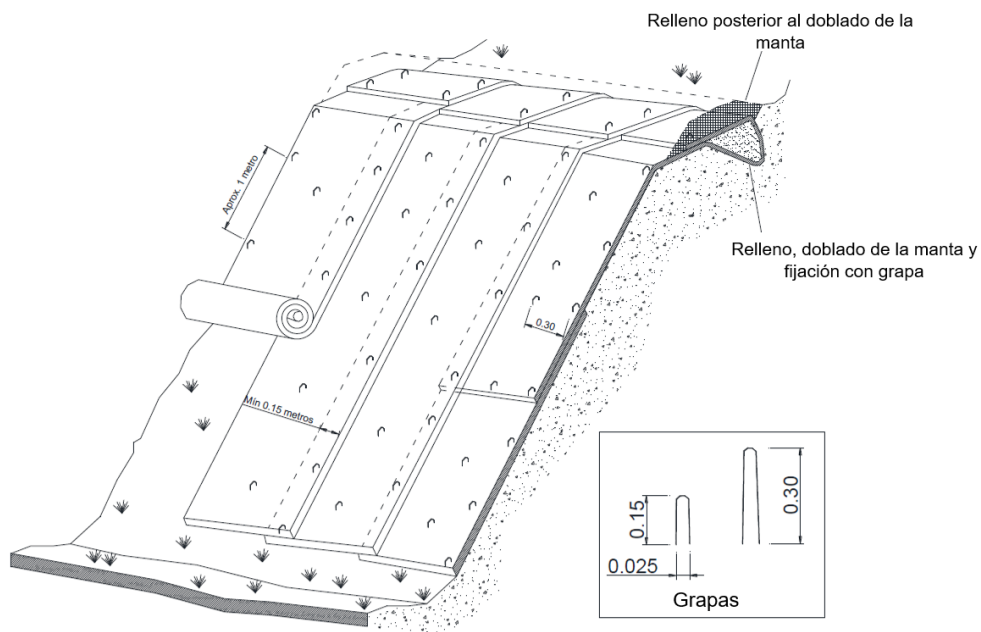
Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (Vargas, 2007).

Restauración de taludes.

Los taludes en el cerro Mishquiyacu, con pendientes fuertes, mayores a 373% (75°) de inclinación, con suelos no consolidados, que poseen rocas meteorizadas y fracturadas, están localizados en la zona 1, en un estado de erosión constante. Los mismos que necesitan de una intervención prioritaria pues al tener suelos poco cohesionados sufren de pequeños deslizamientos de tierra que pueden empeorar en un futuro, ya que los factores climáticos incrementan su deterioro. Por lo que es necesario aplicar técnicas especiales para disminuir los problemas erosivos y de estabilidad, las que faciliten la integración del talud en el paisaje y su posterior colonización vegetal (Valladares, Balaguer, Mola, Escudero y Alfaya, 2011).

En los casos que la litología lo permita, se debería suavizar el perfil del talud y construir zanjas transversales para desviar la escorrentía en la parte superior (Giráldez, 2014). Posterior a esto, se sugiere en esta zona aplicar técnicas combinadas, las cuales pueden estar integradas por: a) mallas metálicas que actúan conteniendo elementos gruesos que se desprendan del talud, pues son muy resistentes a la rotura, pero no siendo apropiadas para atrapar materiales finos; b) geomallas volumétricas conformadas por diferentes mallas termo soldadas las cuales mantienen sus propiedades mecánicas por una gran cantidad de tiempo pues soportan condiciones climáticas abruptas y radiación ultravioleta, pudiendo ser ocupadas en pendientes mayores a 40° de inclinación, conteniendo además materiales finos, lo cual es importante para controlar la erosión y permitir la revegetación a largo plazo; c) mantas orgánicas compuestas por elementos naturales como fibras de coco o yute, que reforzadas con mallas sintéticas compuestas de polipropileno pueden ser utilizadas en altas pendientes (ver Gráfico 19), favoreciendo la retención de materiales finos y formado a su vez suelo, siendo una fuente de materia orgánica al descomponerse y al mismo tiempo permeable para contener las semillas dispersadas naturalmente (Valladares et al., 2011). Sobre estas mantas orgánicas se pueden colocar especies como por ejemplo el Sigsal (*Cortaderia nítida*), penco (*Furcraea andina*) y la paja (*Pennisetum sp.*).

Gráfico 19: Instalación de mallas o mantas orgánicas



Elaborado por: (Giráldez, 2014); **Fuente:** (Giráldez, 2014).

Restauración de cárcavas.

Las cárcavas en el cerro Mishquiayacu se las puede localizar en la zona 3 en donde han sido formadas por procesos de elevadas escorrentías sobre suelo desnudo, anteriormente usado como carretero. Al ser cárcavas pequeñas se propone para esta zona realizar trabajos basados en dos medidas, en la primera se sugiere construir zanjas o canales para drenar el agua de escorrentía, comenzando por la zona más alta de la cárcava y de manera transversal a la pendiente, siguiendo la curva de nivel, para luego en cada zanja establecer barreras vivas en su parte superior, compuestas por ejemplo de aliso (*Alnus acuminata*), penco (*Furcraea andina*) y la paja (*Pennisetum sp.*), estabilizándolas de este modo (IICA, 2012); la segunda medida es traspasar en bloques, suelo de una zona sin perturbaciones, extrayendo solamente lo justo para no causar daño y por otra parte lo que se desea lograr es el trasplante, al mismo tiempo, de nutrientes, microorganismos benéficos (micorrizas) y propágulos de especies nativas que podrían desarrollarse al tener un escenario óptimo (Vargas, 2011).

Manejo de especies exóticas.

Las plantaciones forestales en el área de estudio están principalmente compuestas por especies de pino y eucalipto, las cuales fueron sembradas para

obtener madera y leña. La plantación de pino tiene una edad de 15 años y la plantación de eucalipto una edad de 25 años aproximadamente. Estos monocultivos por su tiempo de vida posiblemente podrían ser cosechados en un futuro. Actualmente existen varios motivos por los que se desea reemplazarlos gradualmente con especies nativas, entre los cuales están: a) alteraciones en los elementos físicos y biológicos del ecosistema; b) pérdida de biodiversidad; c) bloqueo de flujos energéticos (luz); d) pérdida de servicios ecosistémicos (regulación hídrica, fertilidad del suelo, etc.), todos estos procesos impiden la sucesión natural (Espinoza, Hofmann, Moens y Treviño, 2010).

Estas plantaciones al estar localizadas en la zona 3, tendrán una prioridad levemente menor a comparación de las zonas 1 y 2, al momento de ser intervenidas. Para lo que se sugiere proceder de acuerdo a lo establecido por Espinoza et al. (2010), de acuerdo a lo que realizó para el área de bosque y vegetación protectora “EL BOSQUE”, en la provincia de Loja. En donde se llevó a cabo un plan piloto de rehabilitación, reasignación y reintegración de una plantación de pino. En este estudio se utilizaron algunos métodos, los cuales deberán ser adaptados para nuestra área de interés, pues esta tiene características diferentes.

Primero se iniciará por extraer las especies exóticas (pino y eucalipto) por etapas, para lo cual se talarán los árboles con un diámetro mínimo de 40 cm de DAP. Al comienzo se cosechará un 30% del total de las plantaciones, permitiendo que los árboles de DAP más pequeños engruesen y luego de 1 año, cosecharlos de nuevo (ver Tabla 38). Cambiando las plantaciones de pino y eucalipto en un lapso de 4 años aproximadamente (Espinoza et al., 2010).

Tabla 38: Extracción de especies exóticas por años

Periodo	Porcentaje de Pino a extraer
Año 1	30 %
Año 2	30 %
Año 3	30 %
Año 4	10 %

Elaborado por: Autor, 2021; **Fuente:** (Espinoza et al., 2010).

Después de cada cosecha se realizará un diagnóstico de la zona mediante evaluaciones del suelo, de los parámetros físico-químicos, para principalmente determinar acidez o insuficiencia de carbonatos, luego, se deberá efectuar una aplicación de enmiendas orgánicas o químicas al suelo dependiendo de sus condiciones y por último se reforestará con especies nativas como aliso (*Alnus acuminata*) seguidamente de cada corte, aplicando antes tratamientos al suelo (Espinoza et al., 2010). Las especies introducidas en etapas tempranas o adultas que no estén dentro de las plantaciones, deberán ser removidas pues también causan un deterioro ecosistémico.

Remoción de tensionantes de origen antrópico.

En la zona 3 se encuentran localizadas infraestructuras antropogénicas como casas, tranques de agua de cemento y cerramientos que forman barreras para que los procesos de regeneración natural se den. Por ende, es necesario retirarlas por medios mecánicos para que, luego de esto sean intervenidas, en las cuales se deberán hacer evaluaciones de las condiciones físicas, biológicas y químicas del suelo para saber el estado actual en el que se encuentra para después proceder con enmiendas orgánicas y posteriormente con la reforestación utilizando especies nativas que fueron propuestas con anterioridad.

b. Estrategias pasivas de restauración ecológica.

Esta estrategia va dirigida a las áreas con baja prioridad de restauración que conforman un 89,12% del territorio del cerro Mishquiyacu, en donde los factores tensionantes que se han registrado en comparación con otras zonas del área de estudio son mínimos y cuyas áreas están en procesos de regeneración natural pues cuentan con una alta resiliencia debido a que se encuentran cerca de parches de bosque nativo o vegetación arbustiva y herbácea nativa. Por lo que no se consideraron al momento de incluirlas en las áreas con una alta prioridad de restauración.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, en estas áreas se deben retirar los tensionantes o prohibir actividades que alteren la trayectoria de la sucesión natural. Por ello se recomienda:

- Limitar el acceso a personas cuyos fines no sean de investigación o restauración, ya que pueden extraer recursos de los relictos de bosque nativo y por lo observado en campo se tiene conocimiento de que ciudadanos ajenos al área de estudio o que no pertenecen a sectores aledaños cruzan por el cerro Mishquiyacu provenientes de comunidades ubicadas en la parte alta. Se tiene que tomar en consideración que hay personas que habitan en las inmediaciones y con las cuales se tiene entendido que existe un acuerdo para ingresar al lugar.
- Impedir prácticas agrícolas como la ganadería, dado que animales de gran tamaño como los bovinos no dejan prosperar la sucesión natural debido a que se alimentan de especies vegetales nativas y compactan el suelo. Se ha constatado por medio de visitas en campo que muchas veces las personas internan a sus animales en los relictos de bosque para que se alimenten de su vegetación, lo ideal sería que en la parte alta del cerro se coloque una barrera temporal al pastoreo ya sea de alambre de púas u otro material, para impedir el ingreso del ganado.
- Controlar las quemadas intencionales que se realizan en la parte alta para ampliar la frontera agrícola, para lo cual se podrían realizar recorridos periódicos por el cerro Mishquiyacu con el fin de verificar el estado de la vegetación y de las actividades ilícitas que puedan estar realizándose.
- Gestionar el retiro de líneas y postes eléctricos que cruzan por el cerro Mishquiyacu, trasladándolos hacia sectores que en los cuales no sean un riesgo pues existe una probabilidad, aunque sea baja, de que en épocas de sequía los transformadores que se encuentran en los postes de luz por algún motivo causen alguna chispa y por ende inicien un incendio. Además de que se mejoraría la parte paisajística del lugar.
- Después de llevar a cabo los procesos de restauración ecológica en las áreas propuestas para realizar la reforestación y otras acciones de mitigación, se recomienda en lo posible disminuir el paso de automóviles por el carretero principal que da acceso al cerro para que por medio de procesos naturales se inicie la sucesión en éste.

5.4.9 Cronograma de actividades.

Las actividades que se mencionan en el cronograma (ver Tabla 39) contemplan principalmente las estrategias para restaurar las zonas degradadas. Además de importantes acciones complementarias a la propuesta como: nombrar a un director del proyecto para que organice al personal y dirija la restauración; determinar los presupuestos necesarios para llevar a cabo el proyecto; obtener los permisos necesarios o superar cualquier limitación legal para proceder con la restauración; contratación y capacitación de personal; adquisición de equipos y materiales para los trabajos; siembra de especies vegetales; monitoreo al progreso de la restauración; evaluación e informe final del proyecto.

Tabla 39: Cronograma de actividades

Nro.	Actividades	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Año	Año	Año	Año	Año								
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5				
1	Nombramiento de un director a cargo de la restauración	X																																				
2	Determinación de un presupuesto	X	X	X																																		
3	Obtención de permisos legales para restaurar					X	X	X	X																													
4	Socialización del proyecto de restauración									X	X	X																										
5	Contratación de personal					X	X																															
6	Capacitación del personal							X	X																													
7	Construcción del vivero de plantas nativas									X	X																											
8	Adquisición de las herramientas y suministros para el trabajo					X	X																															
9	Obtención de abono orgánico					X	X																															
10	Recolección de semillas o partes vegetales de las plantas para												X	X	X																							

reproducción en el
vivero

11	Reproducción de semillas en vivero	X X X X X						X	X	X	X
12	Descompactación mecánica de suelos							X	X	X	X
13	Aplicación de enmiendas orgánicas en el suelo							X	X		
14	Cercado temporal de las zonas en proceso de restauración	X	X	X							
15	Siembra de especies Fase 1							X	X	X	X
16	Siembra de especies Fase 2							X			
17	Siembra de especies Fase 3										X
18	Restauración de taludes	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
19	Restauración de cárcavas	X	X								
20	Manejo de especies exóticas							X	X	X	X
21	Contratación de maquinaria pesada para remoción de infraestructuras antrópicas abandonadas					X					
22	Remoción de infraestructuras							X	X	X	

antrópicas abandonadas						
23	Riego de las especies vegetales	X	X	X	X	X
24	Monitoreo de la restauración ecológica		X	X	X	X
25	Evaluación del proyecto de restauración					X
26	Informe final del proyecto					X

Elaborado por: Autor, 2021.

6. DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos en esta tesis, con lo que respecta al inventario de especies vegetales, realizado en el ecosistema de referencia. Se encontraron especies nativas y endémicas que coinciden con las catalogadas por Loyola (2019) en el bosque protector Aguarongo, teniendo como especies comunes entre estos dos ecosistemas, las siguientes: Chilca negra (*Ageratina pseudochilca*), Rañas (*Viburnum triphyllum*), Hualhual (*Myrsine dependens*), Jalo (*Hesperomeles Ferruginea*), Gañal (*Oreocallis grandiflora*), *Maytenus verticillata*, Salvia (*Salvia corrugata*), Shiñan (*Barnadesia arborea*), Matico (*Aristeguietia cacalioides*), Higuila (*Monnina pycnophylla*), Aliso (*Alnus acuminata*), Huabisay (*Podocarpus sprucei*), Ayarrambran (*Rhamnus granulosa*), Sérrac (*Miconia aspergillararis*) y Cerote (*Hesperomeles obtusifolia*).

Existen varias razones para que estos dos lugares compartan una gran cantidad especies vegetales, tales como: a) estar localizados en la cordillera oriental de los Andes; b) estar geográficamente cerca pues están separados por 4,15 kilómetros de distancia; c) compartir relativamente las mismas condiciones climáticas; y d) tener un rango altitudinal similar pues el cerro Mishquiyacu se encuentra a una altura de entre los 2 265 a 2 940 m.s.n.m y el bosque protector Aguarongo está entre los 2 200 a 3 335 m.s.n.m.

Por otro lado, existen especies vegetales que Loyola (2019) no ha registrado en el bosque protector Aguarongo y que en el cerro Mishquiyacu si se encuentran, como: Virgen chilca (*Delostoma integrifolium*), Yadaacuten (*Baccharis obtusifolia*), Espino (*Duranta mutissii*), Chanchillo (*Dodonaea viscosa*), Jaboncillo (*Streptosolen jamesonii*), *Croton sp*, Laurel (*Morella pubescens*), Inga rosa (*Lantana Rugosa*), Cotac (*Ferreyranthus verbascifolius*), Flor del inca (*Cantua pyrifolia*), *Smallanthus sp* y Altamisa (*Ambrosia arborescens*).

Por su parte, Pacheco y Quisbert (2016) mencionaron sobre el Aliso (*Alnus acuminata*), que esta especie vegetal en el Ecuador se desarrolla a una altura de entre los 2 300 a 2 400 m.s.n.m. En cambio, en el cerro Mishquiyacu, al Aliso se lo encontró en un rango altitudinal de entre los 2 300 a 2 880 m.s.n.m, evidenciando una incongruencia en los datos y que, a su vez, sirve como aporte a la ecología de la especie. Esto demuestra que es importante incentivar la investigación científica

sobre cada una de las especies vegetales inventariadas, pues aún hay información de la cual no se tiene conocimiento.

En cuanto a la metodología utilizada para este trabajo de titulación, en relación con las variables escogidas para realizar el método AHP, se tuvieron algunas variables en común con Arias (2018) en su proyecto de restauración, las cuales son: uso de suelo, pendientes y cuerpos de agua; en cambio se tiene dos diferencias con el análisis multicriterio de este proyecto, la primera fue con la variable de uso potencial del suelo, ya que esta variable muestra para que está destinado el suelo al que se quiere dar uso, ya sea para suelo de protección o producción agrícola, pero como todo el cerro Mishqiyacu fue destinado como área de protección por el MAAE, no se consideró utilizarla; la segunda variable diferente, es zonas de riesgo, en las que incluyen movimiento de masas, erupciones volcánicas, inundaciones y avalanchas, mientras tanto, para la zona de estudio, solo se consideró los movimientos de masas pues según SNGR (2011), Decreto Ejecutivo N° 389 (2010) y el Acuerdo Ministerial No. 222 (2010), esta zona es propensa a deslizamientos de tierras, siendo la principal razón por la que se tenga la necesidad de utilizar en el análisis multicriterio esta variable.

González, Plascencia y Martínez (2016) por su lado, en el análisis multicriterio que realizaron, ocuparon algunas variables que también se utilizaron para este trabajo de titulación las cuales son: uso de suelo y pendientes. Por otro lado, las variables que no se tienen en común fueron las de precipitación, permeabilidad y erosión, y en comparación con este proyecto, la precipitación no se utilizó para el cerro Mishqiyacu, pues al no tener un área lo suficientemente grande como para que las precipitaciones en su interior varíen, no se tomó en consideración para el método AHP, pues al no variar, la precipitación a lo largo de todo el cerro sería la misma y no se le podría dar rangos ni valores nominales. En el caso de González et al. (2016) la zona de estudio tiene 124 956 ha y el cerro Mishqiyacu posee 125,47 ha, estas marcadas diferencias de áreas hace denotar, en el primer caso, que las precipitaciones variarían por tener una zona mucho más grande. También cabe mencionar que la variable erosión fue catalogada para el cerro Mishqiyacu dentro de la variable uso y cobertura de suelo 2020 en áreas sin cobertura vegetal y la permeabilidad estaba a escala muy grande, descartando su utilización.

Por consiguiente, al momento de buscar las variables que podrían ser óptimas para realizar la priorización, se comenzó por examinar la disponibilidad de información cartográfica adecuada, pues el cerro Mishquiyacu al ser un área relativamente pequeña, la información necesaria, no existía a la escala de trabajo requerida para efectuar el multicriterio, ya que mucha cartografía estaba a nivel provincial y nacional (1: 250 000; 1: 100 000; 1: 50 000), y para el cerro Mishquiyacu se utilizó escalas de trabajo de 1: 25 000 a 1: 5 000, puesto que son escalas muy buenas para áreas pequeñas dado que ofrecen un considerable nivel de detalle (Geospace Solutions, 2020).

Además de aquello, es importante mencionar otras variables que se las excluyó del análisis multicriterio, comenzando por las que no contaban con datos con la escala requerida o que la información cartográfica sea muy escasa, como la evapotranspiración, capacidad de campo, permeabilidad y taxonomía del suelo. Así mismo, la temperatura al no ser un factor el cual influya directamente en las afectaciones ambientales causadas por el hombre o sea un elemento que las sufra, no se la considero para incluirla en el multicriterio. Estas variables en cambio sí se consideraron para el diagnóstico de la zona, ya que sirvieron para ampliar la visión del cerro Mishquiyacu a nivel general, al igual que muchas otras variables.

Algo para considerar, es lo realizado por Lizana y Gutiérrez (2019) en su proyecto de restauración, en donde aplicó siete criterios para el análisis multicriterio, pero al estar financiados económicamente por el Fondo de Investigación del Bosque Nativo de CONAF, pudieron generar información cartográfica para cada uno de los criterios de acuerdo a las necesidades de la investigación. En contraparte, si en algún momento, el proyecto de restauración ecológica para el cerro Mishquiyacu recibe apoyo económico, se podría trabajar con muchas más variables y de acuerdo a las necesidades específicas del cerro, puesto que se las podría generar al contar con más tiempo y dinero.

Otro factor que influyó durante la elaboración de la tesis, con lo que respecta a la metodología, fue la pandemia del COVID-19, ya que gran parte del tiempo en el cual se estaba gestando este proyecto de titulación, existieron restricciones de circulación, toques de queda, riesgos elevados de contagio con la enfermedad,

crisis económica y por lo tanto hizo repensar la manera en el que este proyecto debía desarrollarse.

En consecuencia, las variables utilizadas en el análisis multicriterio fueron escogidas en conjunto con los técnicos del Programa de Reparación Ambiental y Social del MAAE y con asesoramiento de docentes de la UCACUE, basándose en proyectos como el de Arias (2018) que sirvieron de guía, ya que al contar con una metodología multicriterio realizada y aprobada, ayudó con la selección de variables. Se considero también lo mencionado por Grajales, Serrano y Hahn (2013) los cuales expresaron que es condición para un problema de decisión multicriterio la presencia de más de un criterio, y que éstos se encuentren en conflicto. Es decir, un problema puede considerarse como problema multicriterio si y sólo si existen al menos dos criterios en conflicto y existen al menos dos alternativas de solución del mismo criterio. Además, Malczewski (2017) menciona que el método AHP se debe realizar como mínimo con dos variables y que no hay una condición específica la cual diga que es necesario un número determinado de variables para encontrar resultados satisfactorios, referido en cuanto a estudios geográficos de restauración, sino que dependerá de lo representativa que pueda ser la variable con respecto al objeto de estudio, en este caso el cerro Mishquiyacu.

Para lo cual a través de la visión tecnócrata de los técnicos del MAAE y la académica de los docentes de la UCACUE, se llevó a la conclusión de que las variables más idóneas para utilizar bajo las circunstancias y restricciones del caso, son: el uso y cobertura del suelo 2020, las pendientes, cuerpos de agua y movimientos de masas.

La generación de cartografía para las variables mencionadas, tuvo la constante participación de los técnicos del MAAE quienes supieron manifestar su aprobación con la metodología empleada para la obtención de estas variables, ya que no existía la cartografía pertinente sobre uso de suelo, pendientes y cuerpos de agua. De esta manera, se obtuvieron los mapas e información respectiva para ser utilizada en el análisis multicriterio; la capa de movimientos de masa que fue provista por la Secretaria de Gestión de Riesgos también fue revisada y aprobada, por los técnicos del MAAE y docentes de la UCACUE, para ser utilizada.

Por último, los técnicos del MAAE y docentes de la UCACUE con quienes se realizaron las sesiones de trabajo e inspecciones al cerro Mishqiyacu para comprobar los resultados obtenidos en relación al mapa de áreas prioritarias a restaurar, fruto de las ponderaciones del método AHP, expusieron su total acuerdo con los resultados alcanzados pues se acercaban a la realidad de la zona de estudio.

CAPÍTULO V

7. CONCLUSIONES

El diagnóstico inicial de la zona de estudio, permitió conocer la prospectiva del lugar y sus problemas territoriales. Por medio de esto se conoció las características climáticas, geomorfológicas, geológicas, biológicas, históricas y de riesgo. Dentro de estas cabe destacar, el uso y cobertura del suelo actual, pues se determinó la incidencia humana y afectación que aun sufre el cerro Mishquiyacu, ya que los pastizales (7,6 ha), infraestructuras (1,79 ha), áreas sin cobertura vegetal (3,45 ha) y plantaciones forestales (2,43 ha), cubren un área considerable. También se evidenció depósitos de deslizamiento que conforman 47,2 ha, equivalentes al 37,64% del territorio, indicando que, en el pasado, el sector ya habría sufrido deslizamientos de tierra. Por otro lado, el estado de salud de la vegetación, muestra que en el 69,77% tiene un estado saludable, un 5,6% se encuentra enferma o con estrés y un 23,22% vegetación moderadamente saludable con un ligero estrés. Así mismo existe una probabilidad alta de que sucedan movimientos de masas en un 42,71% del territorio y muy alta en el 3,26%, con lo cual es imperativo realizar acciones de prevención contra desastres naturales y conservación ambiental.

El análisis combinado entre los Sistemas de Información Geográfica y el Proceso Analítico Jerárquico, sirvió para obtener las áreas con una alta prioridad de restauración, las cuales tienen 13,64 ha, mismas que deberían restaurarse de manera más inmediata pues tienen un mayor grado de deterioro ambiental. En cambio, las zonas con una baja prioridad de restauración, ocupan 111,83 ha y su intervención deberá ser mínima y menos urgente, ya que se busca que los procesos de sucesión se den de manera natural, al grado de solo retirar los factores tensionantes.

La parte más relevante del análisis entre SIG y el método AHP, fue la de conseguir las ponderaciones de las variables porque mediante estas se pudo obtener el mapa de áreas prioritarias a restaurar. Por otro lado, lo que más ayudó en su desarrollo fue la estructura simple del método AHP, ya que no se necesitó cálculos matemáticos complejos para armarlo, teniendo dificultad en alcanzar una adecuada relación de consistencia.

La propuesta de restauración ecológica se enfocó en las condiciones específicas de cada sitio; obteniendo la zona 1 (2,69 ha), zona 2 (4,86 ha) y zona 3 (5,98 ha), a partir de las áreas con alta prioridad. Estas zonas son de vital importancia, pues sobre estas se debe aplicar las estrategias activas de restauración, las cuales sugieren utilizar especies nativas, manejar las plantaciones forestales, restaurar taludes y cárcavas, y aplicar enmiendas orgánicas; tomando en consideración el nivel de importancia de cada zona. Las estrategias pasivas se deben aplicar sobre las áreas con una baja prioridad de restauración.

De tal manera, lo más sobresaliente con lo que respecta a la propuesta de restauración fue la de realizar el inventario de especies vegetales pues permitió conocer la estructura y composición del ecosistema de referencia, y que gracias a esto se pudo proponer las estrategias de restauración activa, pues especies como el Aliso (*Alnus acuminata*) o el Gañal (*Oreocallis grandiflora*), sirven para estabilizar suelos en altas pendientes o recuperar suelos degradados, y funcionan como la base del ecosistema que se busca replicar, por lo cual se deben de tener en cuenta las especies propuestas para restaurar.

CAPÍTULO VI

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer un análisis de suelo detallado de cada área propuesta para restaurar, para conocer parámetros como disponibilidad de nutrientes, relación C/N, conductividad eléctrica, materia orgánica, entre otros. Esto se realizará para saber qué cantidad de enmiendas orgánicas se deberá aplicar.

Es importante realizar estudios más exhaustivos de la vegetación herbácea, arbustiva y arbórea del cerro Mishqiyacu, con ayuda de la academia, pues se necesita conocer más detalladamente su composición y estructura.

Se recomienda mantener los convenios interinstitucionales entre el MAAE y la Universidad Católica de Cuenca para seguir haciendo investigación científica en el cerro Mishqiyacu.

Se recomienda darle continuación a esta tesis, para seguir actualizando y mejorando las estrategias propuestas en este documento. De tal modo que cuando exista el presupuesto necesario para restaurar el cerro Mishqiyacu se pueda aplicar sin complicaciones y de manera más precisa.

Una buena opción para facilitar los procesos de investigación sería la de implementar en el lugar, una estación científica, la cual esté a cargo de realizar experimentación y al mismo tiempo educación ambiental pues en el cerro Mishqiyacu hay un sinnúmero de oportunidades para generar nuevos conocimientos sobre conservación y restauración.

Realizar estudios de fauna es otro hito importante para avanzar en los procesos de conservación y restauración, ya que se han visualizado una gran cantidad aves y mamíferos entre los cuales destaca el venado de cola blanca, el cual se lo observo muy cerca del ecosistema de referencia.

Realizar un estudio de las interacciones ecológicas de las especies vegetales para conocer la dinámica de los relictos de bosque nativo existentes.

Se recomienda que al momento de realizar la restauración ecológica se tome en cuenta especies vegetales nativas y endémicas que se encuentren en un estado de conservación vulnerable pues si bien no están en peligro directo de extinción, su

población si tiene un grado de afectación. Por lo tanto, para reforestar se deben de considerar, con un poco más de preferencia, estas especies sobre otras, pero sin restar importancia a ninguna.

Se recomienda volver a aplicar el AHP en un corto o mediano plazo porque las variables utilizadas en este método, están sujetas a procesos dinámicos que requieren ser revisados y ajustados en el tiempo porque su entorno está en continuo cambio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo Ministerial No. 222. Registro Oficial 282 de 20-sep-2010, Ministerio del Ambiente de Ecuador-MAE § (2010). Quito, Ecuador.
- Aguilar, H. (2015). Tutorial ENVI 5.1: Introducción al software y procesamiento de imágenes MASTER. San José.
- Aguilar, H., Mora, R. y Vargas, C. (2014). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes Aster, Rapideye, Spot 2 y Landsat 8 con el módulo Flaash del software ENVI. *Revista Geográfica de América Central*, (53), 39–59. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.%5Cnhttp://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/6609/6743>
- Aguilera, K. (2018). *El estado del arte de la restauración ecológica en los andes ecuatorianos hasta el año 2016*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Aguirre, N. y Torres, J. (2014). *Guía para la Restauración Ecológica en los Páramos del Antisana*. Quito: Fondo para la Protección del Agua-FONAG.
- Añazco, M. (2000). *Producción de plantas: Sistema de Capacitación para el Manejo de los Recursos Naturales Renovables*. Quito.
- Arias, J. (2018). *Mapeo de áreas prioritarias para la restauración ecológica en la zona de influencia del centro agrícola cantonal de Oreamuno, Cartago, Costa Rica, 2018*. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA.
- Aristizábal, E., Martínez, H. y Vélez, J. I. (2010). Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, 34(53), 209–227.
- Avila, R. (2000). *El AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y Su Aplicación Para Determinar Los Usos De Las Tierras*. Santiago de Chile. Recuperado de [http://www.fao.org/home/search/es/?q=EL AHP \(PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO\) Y SU APLICACIÓN PARA DETERMINAR LOS USOS DE LAS TIERRAS](http://www.fao.org/home/search/es/?q=EL AHP (PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO) Y SU APLICACIÓN PARA DETERMINAR LOS USOS DE LAS TIERRAS)
- Aznar, J. y Guijarro, F. (2020). *Nuevos métodos de valoración. Modelos*

- Multicriterio* (Vol. 53). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Báez, S., Salgado, S., Santiana, J., Cuesta, F., Peralvo, M., Galeas, R., ... Toasa, G. (2010). Propuesta Metodológica para la Representación Cartográfica de los Ecosistemas del Ecuador Continental, 210.
- Balboa, R. (2014). *Producción de soja y descompactación del suelo en el sur de Córdoba* (Vol. 11).
- Barreto, J., Torres, R. y Tenezaca, R. (2008). La Josefina, Quince años después. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 6–9.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Barrientos, Z. y Monge, J. (2010). Restauración ecológica en la meseta central de Costa Rica. *Biocenosis*, 20–25. Recuperado de <https://investiga.uned.ac.cr/revistas/index.php/biocenosis/article/viewFile/1240/1307>
- Bernal, R., Gradstein, R. y Celis, M. (2016). *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia* (Primera Ed). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Borja, R. (2010). Estrategias de Gestión Socio Cultural del Agua. En *Estrategia Gestión Socio Cultural del Agua por Cuenca Hidrográfica*. Quito.
- Bustamante, M., Albán, M. y Argüello, M. (2011). *Los páramos de Chimborazo. Un estudio socioambiental para la toma de decisiones*. Quito: Gobierno Autónomo Descentralizado de Chimborazo/EcoCiencia/CONDESAN/Programa BioAndes/Proyecto Páramo Andino.
- Cardona, A., Castellano, C., Pizón, L., Mora, C. y Vargas, O. (2011). Zonificación ambiental para la priorización de áreas de conservación en el Bloque Cubiro, Casanare (Colombia). (T. L. Sicard, Ed.), *Mamíferos, reptiles y ecosistemas del bloque Cubiro*, 227–237.
- Carrión, A. y Mosquera, D. (2018). *Aplicación de fichas con énfasis en la vegetación nativa de Cuenca*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Castro, R., Monge, E., Rocha, C. y Rodríguez, H. (2007). La Gestión del Recurso

Hídrico. *Revista Biocenosis*, 20.

Chávez, H., González, M. D. J. y Hernández de la Rosa, P. (2018). Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(27), 8–23.

<https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i27.277>

Chen, J. (2018). Conceptos Básicos de la Fotosíntesis. Recuperado de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/conceptos-basicos-de-la-fotosintesis/>

Cobos, S. y Solano, J. (2020). Sanitary landfill site selection using multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process : A case study in Azuay province , Ecuador. *Waste Management & Research*.

<https://doi.org/10.1177/0734242X20932213>

Código Orgánico del Ambiente. Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2017 (2018). Quito, Ecuador: Asamblea Nacional del Ecuador.

Consorcio Río Garagoa. (2017). Fase de Diagnóstico: Pendientes. *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Garagoa*. Bogota D.C.

Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial 449 de 20-oct-2008 (2008). Montecristo, Ecuador: Asamblea Constituyente del Ecuador.

De Brito, M. M. y Evers, M. (2016). Multi-criteria decision-making for flood risk management: A survey of the current state of the art. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(4), 1019–1033. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-1019-2016>

De la Torre, L., Navarrete, H., Muriel, P., Macía, M. J. y Balslev, H. (2008).

Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador. Herbario QCA & Herbario AAU. Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/310828407_Enciclopedia_de_las_Plantas_Utiles_del_Ecuador

Decreto Ejecutivo N° 389. Registro Oficial Suplemento 250 de 04-ago.-2010 (2010). Ecuador: Presidencia de la República del Ecuador.

- Díaz, J. (2015). *Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*. Universidad Complutense de Madrid. Recuperado a partir de http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf
- Espinoza, V., Hofmann, M., Moens, M. y Treviño, I. (2010). *Plan piloto de rehabilitación, reasignación y reintegración de una plantación de pino (Pinus patula) en el área de bosque y vegetación protectora "El Bosque", Loja - Ecuador*. Universidad central del Ecuador, Quito.
- ESRI. (2020a). Novedades de ArcGIS for Desktop. Recuperado de <https://www.sigsa.info/productos/esri/plataforma-arccgis>
- ESRI. (2020b). Producto ENVI. Recuperado de <https://www.sigsa.info/productos/envi>
- Faiguenbaum, H. (2017). Redagricola. Recuperado de <https://www.redagricola.com/cl/compactacion-muchos-casos-enemigo-numero-uno-del-rendimiento-maiz/>
- FAO y OMS. (2005). Foro mundial FAO/OMS de autoridades de reglamentación sobre inocuidad de los alimentos. En *Riesgos ambientales relacionados con la agricultura convencional* (p. 12). Roma. Recuperado de <http://www.fao.org/3/y5871s/y5871s00.htm#Contents>
- Fernández, I., Morales, N., Olivares, L., Salvatierra, J., Gómez, M. y Montenegro, G. (2010). *Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- GADM Paute. (2014). *Actualización Del Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Paute. Actualización Del Plan De Desarrollo Y Ardenamiento Territorial Del Cantón Paute*.
- García, D. (2016). *Formulación De Actividades De Restauración Ecológica Para El Proyecto De Mejoramiento, Rehabilitación Y Reconstrucción De La Vía Palomas – Mambita, Departamento De Cundinamarca*. Universidad Libre.

- García, M. (2018). *Diseño de un modelo de gestión para la explotación sostenible de materiales áridos y pétreos en el cantón Coronel Marcelino Maridueña, provincia del Guayas*. Universidad Politécnica del Litoral.
- Geneletti, D., Orsi, F., Lanni, E. y Newton, A. (2011). Identificación de áreas prioritarias para la restauración de bosques secos. *Principios y práctica de la restauración del paisaje forestal: Estudios de caso en las zonas secas de América Latina*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y Madrid, España: Fundación Internacional para la Restauración de Ecosis, 289–326.
- Gentry, A. (1988). Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Annals of the Missouri Botanical Garden*.
- Geospace Solutions. (2020). Teledetección en ENVI: Imágenes Satelitales SuperView-1. Quito.
- Giráldez, J. (2014). *Manual de técnicas de estabilización biotécnica en taludes de infraestructuras de obra civil*. Andalucía: Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía.
- Gonzalez, G. y Vargas, F. (1991). Reforestación de microcuencas: Trazado para la siembra.
- González, J., Pambi, V., Uyaguari, E. y Zhiñin, H. (2017). Estado actual de la restauración ecológica en la Región Sur del Ecuador *Current*, 7, 16–25.
- González, L., Ferro, J., Rodríguez, D. y Berazaín, R. (2017). Métodos de inventario de plantas. *Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas*, 60–85. Recuperado de http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/1454/6/060-085_Libro_Biodiversidad_Cuba_Capítulo_5.pdf
- González, M., Plascencia, F. y Martínez, T. (2016). Áreas prioritarias para restauración ecológica y sitios de referencia en la región Chignahuapan-Zacatlan. *Madera y bosques*, 22, 41–52.

- Grajales, A., Serrano, E. y Hahn, C. (2013). Los metodos y procesos multicriterio para la evaluación. *Luna Azul*, (36), 285–306.
- Herbario Azuay. (2021). Base de datos del Herbario Azuay. Cuenca.
- Hwang, C.-L. y Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3
- IEE. (2018). Cartografía tematica del Instituto Espacial Ecuatoriano. Quito: Instituto Espacial Ecuatoriano.
- IICA. (2012). Obras de conservación de suelos y agua en laderas. Proyecto Red SICTA del IICA/Cooperación Suiza en América Central. *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*. Recuperado de <http://repiica.iica.int/docs/b3470e/b3470e.pdf>
- INAMHI. (2015). Anuarios Meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. *Servicio meteorologico*. Quito: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Recuperado de http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am_2012.pdf
- Jardín Botánico de Quito. (2021a). Plantas Nativas de la Hoya de Quito. Recuperado de <http://plantasnativas.visitavirtualjbq.com/index.php/epoca/xix-humboldt-bonpland/24-barnadesia-arborea>
- Jardín Botánico de Quito. (2021b). Plantas Nativas de la Hoya de Quito.
- Labarca, R., Bernal, J., Barreto, B. y Solano, C. (2016). Rasgos geológicos-geomorfológicos de la cuenca media del río Apón. Una proyección geográfica Features geological -geomorphologic of the average river basin Apón. A geographical projection, 40.
- León, R., Bonifaz, N. y Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y Forrajes del Ecuador*. Quito: ABYA YALA.
- Linares, R. (2000). Bases Ecológicas Para La Silvicultura Del Bosque Natural Estudio De Caso Del Catival (Prioretum Copaiferae). *Colombia forestal*, 6(13), 7–36. <https://doi.org/10.14483/2256201X.3265>

- Lizana, C. y Gutiérrez, A. (2019). Sitios prioritarios para la recuperación de bosque nativo intervenido en la Región de Los Ríos, Chile. *Revista de Investigaciones Geográficas*, 4–17.
- Loján, L. (1992). El Verdor de los Andes. (Proyecto Desarrollo Forestal Participativo en los Andes, Ed.). Quito.
- Loyola, J. (2019). *Guía de Flora del Bosque Protector Aguarongo* (Vol. 1). Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- MAAE. (2020a). Antecedentes de los procesos de expropiación en el cerro Mishquiyacu. Cuenca.
- MAAE. (2020b). Cartografía Base del Ecuador a nivel nacional, cantonal y parroquial. *Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador*.
- MAE. (2011). Imágenes satelitales del cerro Mishquiyacu de los años 2009 y 2011. *Ministerio del Ambiente de Ecuador-MAE*.
- MAE. (2019). Áreas de Bosque y Vegetación Protectora de la Cuenca del Río Paute. *Ministerio del Ambiente de Ecuador-MAE*.
- MAE y FAO. (2015). *Especies forestales arbóreas y arbustivas de los bosques montañosos del Ecuador*. Quito. Recuperado de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/55826.pdf>
- MAE y MAGAP. (2015). *Protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental 2013-2014*. Ministerio del Ambiente del Ecuador y Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
- MAGAP y SIGTIERRAS. (2015). Cantón Paute: Levantamiento de cartografía temática escala 1:25.000, lote 2. Paute.
- Malczewski, J. (2007). GIS - based multicriteria decision analysis : a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
- Meli, P. y Carrasco, V. (2011). *Restauración ecológica de riberas. Manual para la*

recuperación de la vegetación ribereña en arroyos de la selva Lacandona.

Recuperado de [http://www.sidalc.net/cgi-](http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=sibe01.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=028857)

[bin/wxis.exe/?IsisScript=sibe01.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=028857](http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=sibe01.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=028857)

Méndez, M., Martínez, C., Ceconco, E. y Guariguata, M. (2017). Planes actuales de restauración ecológica en Latinoamérica: Avances y omisiones. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 1. <https://doi.org/10.15359/rca.51-2.1>

Minga, D. y Verdugo, A. (2016). *Arboles y arbustos de los ríos de Cuenca*. Cuenca.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. (2015). *Informe de Gestión Año 2014. Fondo de Estabilización para el Fomento de la Exportación de Carne, Leche y sus Derivados*. Bogotá. Recuperado de <http://www.iadb.org/projectDocument.cfm?id=37972950>.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2015). *Plan Nacional de Restauración. Restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas*. Bogotá D.C. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Ordenación-y-Manejo-de-Bosques/PLAN_NACIONAL_DE_RESTAURACIÓN_2.pdf

Ministerio de Recursos No Renovables. (2012). *Reglamento Especial Para Explotación De Materiales Áridos Y Pétreos. Decreto Ejecutivo 1279*.

Mishra, J., Prakash, J. y Kumar Arora, N. (2016). Role of Beneficial Soil Microbes in Sustainable Agriculture and Environmental Management. *Climate Change and Environmental Sustainability*, 4(2), 137–149. <https://doi.org/10.5958/2320-642X.2016.00015.6>

Missouri Botanical Garden. (2021). Base de datos del Jardín Botánico de Missouri.

Montenegro, M. y Bermúdez, H. (2005). Zonificación ecológica del paisaje. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.


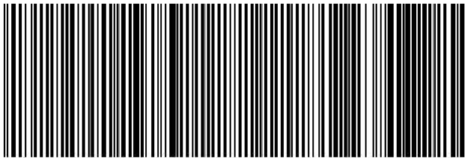
- Morgan, R. y Rickon, R. (1995). *Slope Stabilization and Erosion Control* E & Spon. Londres.
- Murillo, S. A., Mendoza, A. y Fadul, C. J. (2019). La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *La Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustrial*, 7(1), 58–68.
<https://doi.org/10.23850/24220582.2503>
- Navarrete, D. (2014). *Evaluación de medios de cultivo para la micropropagación de yalomán (Delostoma integrifolium D. Don)*. Quito.
- Norma para el Manejo Sustentable de los Bosques Andinos. Registro Oficial 416, 13-Dic-2006., Ministerio del Ambiente de Ecuador-MAE § (2006). Ecuador.
Recuperado de <https://www.ambiente.gob.ec>
- Ocaña, D. (1994). Desarrollo Forestal Campesino en la Región Andina del Perú. Proyecto Apoyo a las plantaciones forestales con fines energéticos y para el desarrollo de las comunidades rurales.
- Osorio, J. y Orejuela, J. (2008). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Scientia et Technica Año XIV, No 39*, 247–252.
- Oyala, V. (2014). *Sistemas de Informacion Geografica*.
- Pacheco, E. y Quisbert, A. (2016). Modelos de aprovechamiento sostenible del Aliso (*Alnus Acuminata*) en zona de ladera de bosque de niebla. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 4(1), 24–38.
<https://doi.org/10.36610/j.jsab.2016.040100024>
- Parra, O. (2003). Taxonomic revision of Myricaceae from Colombia.
- Penadés, V., García, T. y Yepes, V. (2016). A review of multi-criteria decision-making methods applied to the sustainable bridge design. *Sustainability (Switzerland)*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/su8121295>
- Peters, E., Vega, E., Portales, G. y Valdez, M. (2005). *Temas sobre restauracion ecológica*. Mexico D.F.

- Prefectura del Azuay. (2018). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia del Azuay.
- Reglamento al Código Orgánico del Ambiente. Registro Oficial Suplemento 507 de 12-jun.-2019 (2019). Quito, Ecuador: Asamblea Nacional del Ecuador.
- Ríos, L. y Acevedo, G. (2007). *Ecología, utilización e impactos producidos por el aprovechamiento del cucharillo Oreocallis grandiflora (Lam) R. Br. en las parroquias de Taquil, Chantaco, Chuquiribamba y Gualiel de la provincia de Loja*. Universidad Nacional de Loja.
- Rodríguez, O. y Arredondo, H. (2005). *Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto MODIS de la nasa, aplicado en estudios de ingeniería civil*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogota D.C.
- Rondon, J. y Vidal, R. (2005). ESTABLECIMIENTO DE LA CUBIERTA VEGETAL EN AREAS DEGRADADAS (PRINCIPIOS Y MÉTODOS), 63–82.
- Royal Botanic Gardens Kew. (2021). Plants of the World Online. Recuperado de <http://www.plantsoftheworldonline.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:862753-1>
- Sanchez, P. (2012). *La teledetección enfocada a la obtención de mapas digitales*. Universidad de Cuenca.
- SNGR. (2011). Estudio de amenazas por movimientos en masa del cantón Paute, provincia del Azuay. *Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos*.
- Society for Ecological Restoration (SER) International. (2004). *Principios de SER International sobre la Restauración Ecológica*. Recuperado de www.ser.org
- Soeters, R. y Van Westen, C. J. (1996). Slope Instability Recognition Analysis and Zonation. *Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report No. 247*, 129–177.
- Soria, M. V. y Matar de Saquis, M. A. (2016). Nociones sobre teledetección. Recuperado de <http://www.unsj.edu.ar/unsjVirtual/cartografiaaplicadaminas/wp-content/uploads/2016/10/Apuntes-de-cátedra-para-Cartografía-Aplicada.pdf>

- Stang, D. (2007). *Streptosolen jamesonii* (Benth.) Miers.
- Toribio, G. (2019). NDVI, ¿qué es y para qué sirve? Recuperado de <https://www.cursosteledeteccion.com/ndvi-que-es-y-para-que-sirve/>
- Valladares, F., Balaguer, L., Mola, I., Escudero, A. y Alfaya, V. (2011). *Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte Bases científicas para soluciones técnicas*. Madrid: Fundación Biodiversidad.
- Vargas, O. (2007). *Guía metodológica para la restauración del bosque altoandino*. (Grupo de Restauración Ecológica, Ed.). Bogota D.C: Universidad Nacional de Colombia.
- Vargas, O. (2011). Restauración ecológica: Biodiversidad y conservación. *Acta Biologica Colombiana*.
- Vargas, O., Diaz, J., Reyes, S. y Gomez, P. (2012). *Guías técnicas para la restauración ecológica de los ecosistemas de Colombia*. Bogota.
- Vázquez, R. (2017). Uso de sistemas de información geográfica libres para la protección del medio ambiente. Caso de estudio manipulación de mapas raster con datos climáticos. Quito.
- Wall, G. y Ferrari, A. (2004). Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 105(2), 63–87.
- Willis, K. J. y Birks, H. J. B. (2006). What is natural? The need for a long-term perspective in biodiversity conservation. *Science*, (5803), 1261–1265.

ANEXOS

Anexo 1: Factura de compra de la imagen satelital Superview-1

 <p>GEOSPACE SOLUTIONS INNOVACIÓN & COMPROMISO</p>	<p>FACTURA 001-002-000000093 Ambiente: PRODUCCION Emitida: 10/02/2021 Fecha Autorización: 10/02/2021 17:10:04 No Autorizacion 1002202101171290748200120010020000000931234567817</p>																																																													
<p>GEOSPACE SOLUTIONS RUC: 1712907482001 Razon Social: CASTRO MACIAS DOMINGO RAFAEL Dir Matriz: AV MANUEL CORDOVA GALARZA KM 4 1/2 URB DOS HEMISFERIOS OF 1504 Telefonos: 0997367958 Email: rcastro@geospace-solutions.com No obligado a llevar contabilidad</p>	 1002202101171290748200120010020000000931234567817																																																													
<p>MARIANA DEL ROCIO PADILLA BRAVO 0102519782 CUENCA pquezad94@gmail.com</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Forma de Pago</th> <th style="text-align: left;">Plazo</th> <th style="text-align: left;">Monto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO</td> <td>0 Dias</td> <td>392</td> </tr> </tbody> </table>	Forma de Pago	Plazo	Monto	OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	0 Dias	392																																																							
Forma de Pago	Plazo	Monto																																																												
OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	0 Dias	392																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Codigo</th> <th style="text-align: left;">Cant</th> <th style="text-align: left;">Descripción</th> <th style="text-align: left;">Precio Unitario</th> <th style="text-align: left;">Descuento</th> <th style="text-align: left;">Precio Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>OCP1</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Imágenes satelitales VHR sobre 25 km2</td> <td style="text-align: right;">350</td> <td style="text-align: right;">0</td> <td style="text-align: right;">350.00</td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td style="text-align: right;">Subtotal Iva 12%</td> <td style="text-align: right;">350.00</td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td style="text-align: right;">SubTotal Iva 0%</td> <td style="text-align: right;">0.00</td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td style="text-align: right;">Subtotal sin impuestos</td> <td style="text-align: right;">350.00</td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td style="text-align: right;">Descuentos</td> <td style="text-align: right;">0.00</td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td style="text-align: right;">Valor ICE</td> <td style="text-align: right;">0.00</td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td style="text-align: right;">Valor Iva 12%</td> <td style="text-align: right;">42.00</td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td style="text-align: right;">Total</td> <td style="text-align: right;">392.00</td> </tr> </tbody> </table>		Codigo	Cant	Descripción	Precio Unitario	Descuento	Precio Total	OCP1	1	Imágenes satelitales VHR sobre 25 km2	350	0	350.00						Subtotal Iva 12%	350.00						SubTotal Iva 0%	0.00						Subtotal sin impuestos	350.00						Descuentos	0.00						Valor ICE	0.00						Valor Iva 12%	42.00						Total	392.00
Codigo	Cant	Descripción	Precio Unitario	Descuento	Precio Total																																																									
OCP1	1	Imágenes satelitales VHR sobre 25 km2	350	0	350.00																																																									
					Subtotal Iva 12%	350.00																																																								
					SubTotal Iva 0%	0.00																																																								
					Subtotal sin impuestos	350.00																																																								
					Descuentos	0.00																																																								
					Valor ICE	0.00																																																								
					Valor Iva 12%	42.00																																																								
					Total	392.00																																																								

Anexo 2: Matriz normalizada

Uso y cobertura del suelo 2020	0,136363636	0,1875	0,131578947	0,13157895
Cuerpos de agua	0,045454545	0,0625	0,078947368	0,07894737
Pendientes	0,409090909	0,4375	0,394736842	0,39473684
Movimientos de masas	0,409090909	0,3125	0,394736842	0,39473684
Suma	1	1	1	1

Anexo 3: Relación de consistencia

Vector de prioridad nW	nWmax	4,1327851	
0,6084031	CI=(nWmax-n)/(n-1)	0,0442617	
0,2727372	RI=1,98*(n-2)/n	0,792	
1,6922847	CR=CI/RI	0,055886	CR < 0,1
1,55936			
4,1327851			

Anexo 4: Obtención de información mediante comunicación personal con los habitantes de un sector aledaño al cerro Mishquiyacu



Fuente: Autor, 2020.

Anexo 5: Ecosistema de referencia en el cerro Mishquiyacu



Fuente: Autor, 2021.

Anexo 6: Identificación de especies vegetales mediante visualización



Fuente: Autor, 2021.

Anexo 7: Materiales utilizados para el inventario de especies



Fuente: Autor, 2021.

Anexo 8: Erosión del suelo como producto de un sobrepastoreo



Fuente: Autor, 2021.

Anexo 9: Creación del cuadrante por área mínima



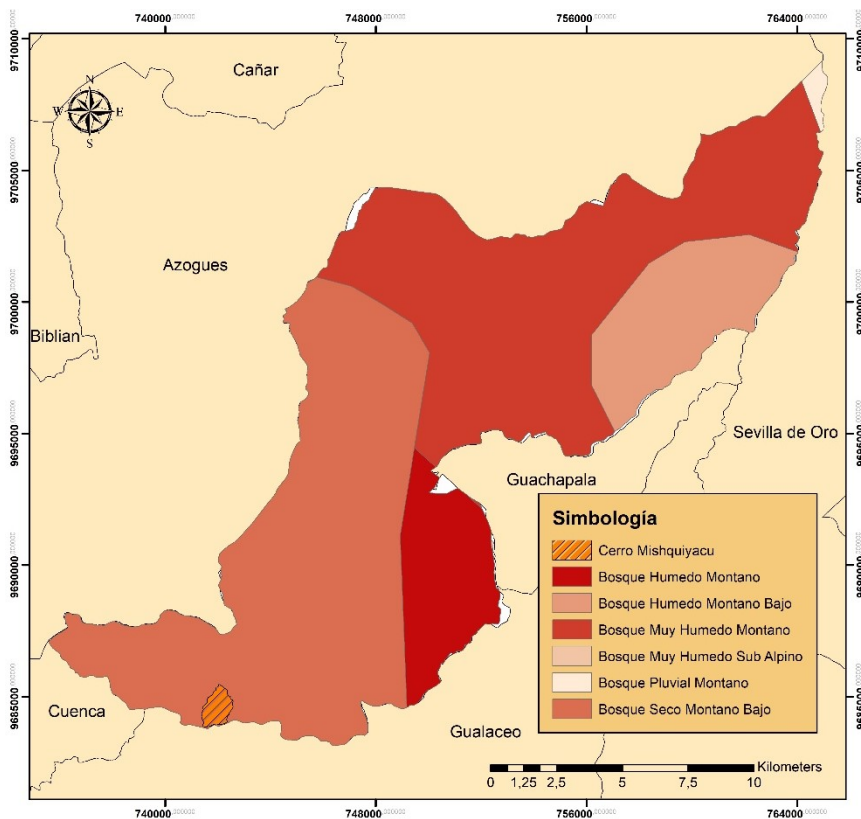
Fuente: Autor, 2021.

Anexo 10: Recorrido por el cerro Mishquiyacu



Fuente: Autor, 2021.

Anexo 11: Ecosistemas del cantón Paute



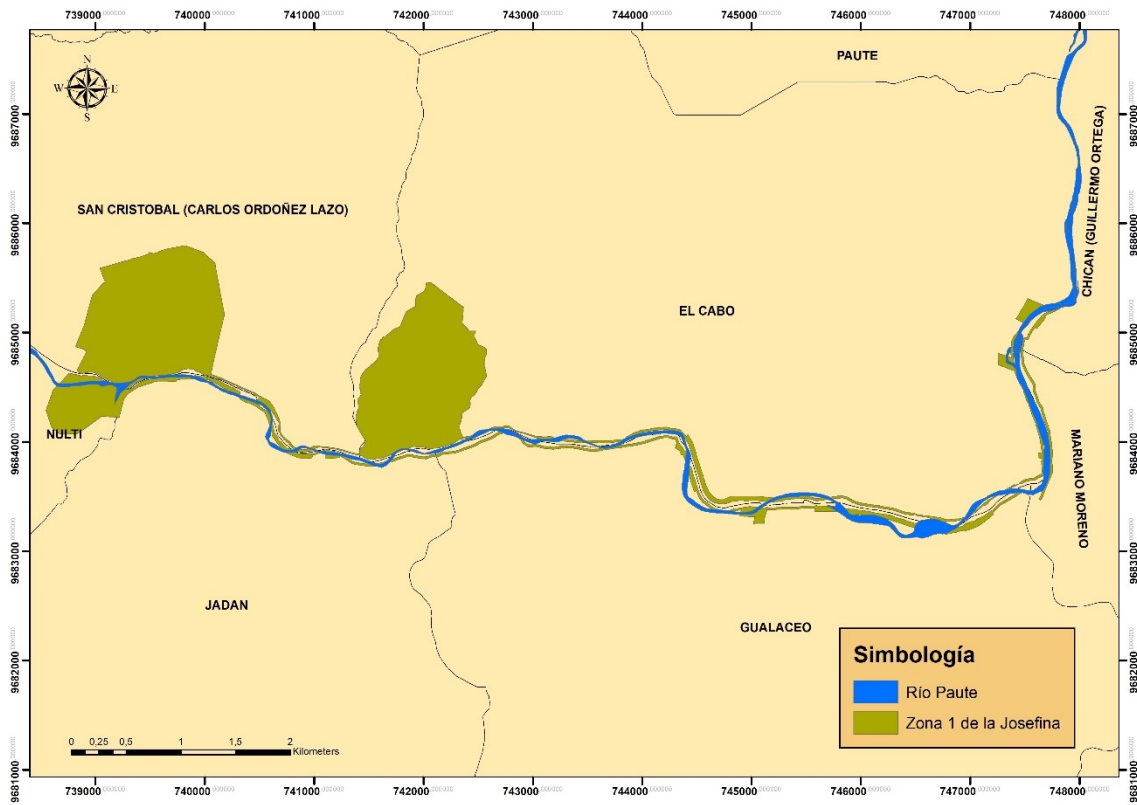
Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (Prefectura del Azuay, 2018).

Anexo 12: Erosión en zonas de ladera



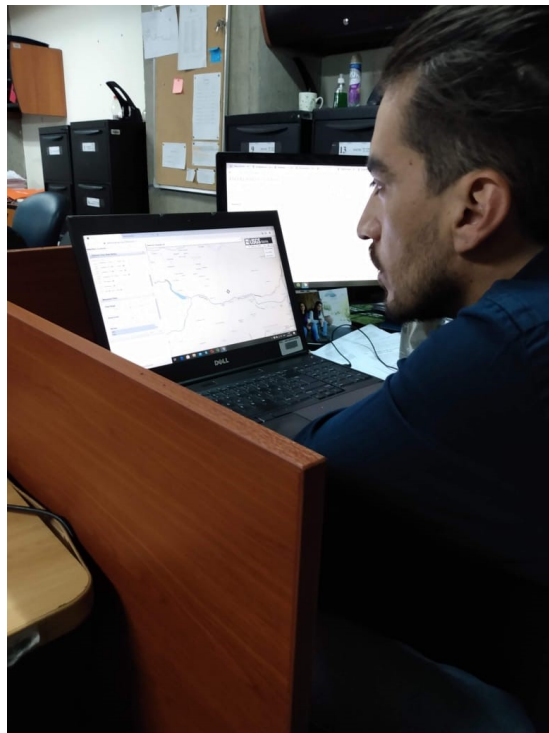
Fuente: Autor, 2021.

Anexo 13: Zona 1 de la Josefina



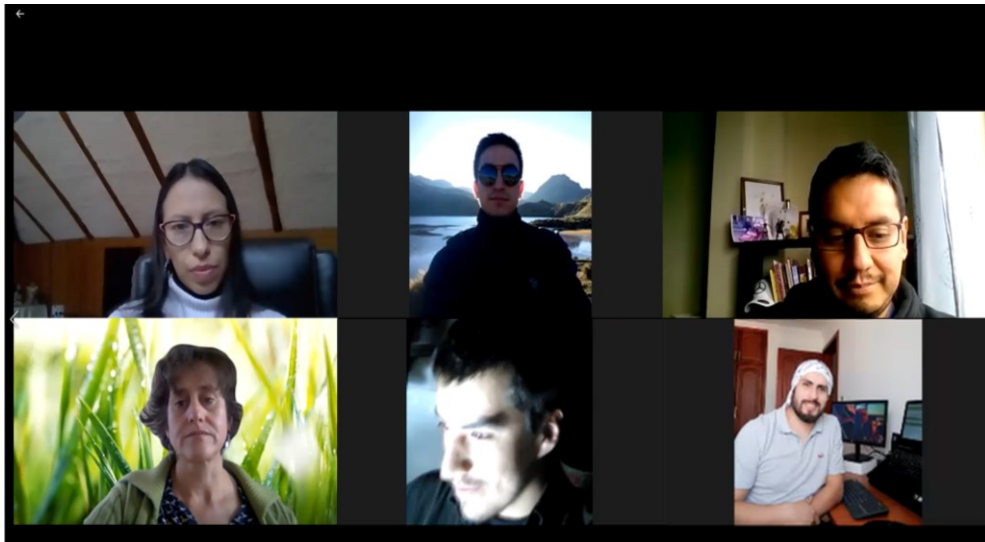
Elaborado por: Autor, 2021; Fuente: (MAAE, 2020b).

Anexo 14: Sesión de trabajo con técnicos del MAAE






Fuente: Autor, 2020.



Anexo 15: Reunión con el grupo de expertos compuesto por técnicos del MAAE y docentes de la UCACUE





Fuente: Autor, 2020.



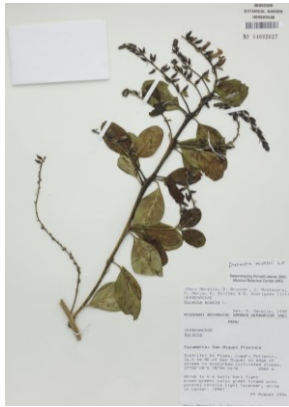
Anexo 16: Especies vegetales del cerro Mishquiyacu



N°	Imagen	Especie	Nombre común	Descripción	Origen	Fuentes de información
1		<i>Ageratina pseudochilca</i> Benth.	Chilca negra	Para la restauración ecológica es importante pues es una planta pionera y puede colonizar suelos con baja cantidad de nutrientes. No necesita suelos profundos. Se la puede utilizar como planta medicinal y como leña. Este arbusto se puede localizar en el cerro Mishquiyacu a una altura de entre los 2 270 a 2 940 m.s.n.m y se distribuye geográficamente desde Colombia hasta Ecuador.	Nativa	(Bernal et al., 2016); (Herbario Azuay, 2021). Fuente imagen: (Missouri Botanical Garden, 2021).
2		<i>Viburnum triphyllum</i> Benth.	Rañas	Es una especie de árbol que facilita la incorporación de nitrógeno al suelo pues posee bacterias y micorrizas que están a cargo de esto. Tiene un follaje denso. Sus propágulos sirven de alimento para aves dispersoras de semillas. Sirve para proteger márgenes de ríos, quebradas y fuentes de agua. Es un árbol maderable, de rápido crecimiento. Además, resiste el frío, fuertes vientos, suelos poco profundos, suelos pobres y erosionados. También atrae a polinizadores y puede llegar a alcanzar una altura de hasta 15 metros. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 280 a 2 900 m.s.n.m.	Nativa	(Herbario Azuay, 2021); (De la Torre et al., 2008).
3		<i>Myrsine dependens</i>	Hualhual	Este árbol es una especie que se adapta con facilidad en suelos pedregosos. Su capacidad de rebrote es buena y por ende presenta una excelente regeneración natural. Se la puede utilizar para proteger fuentes hídricas, conservar y recuperar el suelo. Por tal motivo es una excelente opción para aplicarla en reforestaciones. Sus hojas sirven como abono pues tienen abundantes nutrientes y alcanza alturas de hasta 10 metros. En el cerro Mishquiyacu se	Nativa	(Minga y Verdugo, 2016); (De la Torre et al., 2008).




			lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 610 a 2 880 m.s.n.m.			
4		<i>Hesperomeles ferruginea</i>	Jalo	Es una especie de árbol de la cual se extrae madera para ser empleada en construcciones. También se puede extraer carbón y leña. Fuente de alimento para gran variedad de aves dispersoras de semillas. Es recomendada para utilizarla en reforestación, ya que provee muchos beneficios ambientales al suelo y ayuda a mantenerlo cohesionado. El oso de anteojos se alimenta de sus frutos y puede llegar a medir 6 metros de altura. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 530 a 2 940 m.s.n.m.	Nativa	(De la Torre et al., 2008)
5		<i>Delostoma integrifolium</i> D. Don	Virgen chilca o guallag	Esta especie de árbol es recomendada para reforestar en áreas erosionadas o de alguna manera afectadas por el cambio de uso de suelo. Contribuye a fitoremediar el suelo, mejorando sus condiciones físicas y biológicas. Se puede adaptar a diferentes tipos de suelos. Su óptimo desarrollo se puede dar en suelos bien drenados y de características limo arenosas. Varias especies de colibrís se alimentan del néctar de sus flores, atrayendo además muchos insectos polinizadores. Sus semillas pueden recolectarse en los meses de noviembre y diciembre. Puede alcanzar una altura de 10 metros. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 550 a 2 890 m.s.n.m.	Nativa	(Navarrete, 2014); (Minga y Verdugo, 2016); (De la Torre et al., 2008).




6		<p><i>Oreocallis grandiflora</i> (Lam.) R.Br.</p>	Gañal	<p>Es un árbol que se puede desarrollar en suelos pedregosos y superficiales. Por lo general no exige suelos fértiles, pero puede desarrollarse mejor en pendientes moderadas y con una capa fértil de suelo de al menos 15 cm. Es una especie de sucesión secundaria. Se puede asociar fácilmente con otras plantas. Es una especie maderable y es hospedera de insectos, aves y pequeños mamíferos. Se la utiliza en reforestaciones donde el suelo sufre procesos erosivos o degradativos. Pudiendo alcanzar una altura de 10 metros. En el cerro Mishqiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 300 a 2 895 m.s.n.m.</p>	Nativa	<p>(Loján, 1992); (Añazco, 2000); (Ríos y Acevedo, 2007); (Ocaña, 1994).</p>
7		<p><i>Maytenus verticillata</i> (Ruiz & Pav.) DC.</p>	N/A	<p>Posee una regeneración natural muy buena y de preferencia se establece en suelos profundos y con pendientes ligeras a planas. No tiene una capacidad de rebrote. Su madera es dura y se la utiliza para elaborar estacas y postes. Su medio de propagación es por semillas y estas tienen un porcentaje de germinación del 10%. Este árbol puede llegar a medir entre 3 a 7 metros de altura. En el cerro Mishqiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 400 a 2 910 m.s.n.m.</p>	Nativa	<p>(Minga y Verdugo, 2016); (Loyola, 2019).</p>




8		<p><i>Salvia corrugata Vahl</i></p>	Salvia	<p>Este arbusto puede llegar a establecerse en suelos sueltos y con una alta pedregosidad. Atrae polinizadores como los colibrís, varias especies de estos visitan la planta. Sus flores son azules y las produce durante todo el año y en mayor frecuencia en los meses de marzo, abril y mayo. Se recomienda usarla en planes de reforestación pues atrae aves dispersoras de semillas y mejora la calidad del suelo por sus aportes de materia orgánica a través de la caída de sus hojas y flores. Es de rápido crecimiento y de gran capacidad de rebrote. Puede alcanzar una altura de 2,5 metros. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 600 a 2 940 m.s.n.m.</p>	Nativa	<p>(Minga y Verdugo, 2016); (De la Torre et al., 2008). Fuente imagen: (Herbario Azuay, 2021)</p>
9		<p><i>Barnadesia arborea Kunth</i></p>	Shiñan	<p>Es una especie de arbusto que se distribuye entre Ecuador y Perú, a lo largo de los Andes entre los 1500 y 4500 m.s.n.m. Su tallo está protegido por espinas. Se lo utiliza como cerca viva y leña. Su importancia ecológica recae en que se utiliza para proteger vertientes de agua, cauces de ríos y quebradas. Se utiliza como medicina para tratar el espanto y problemas del hígado. Este arbusto puede llegar a medir hasta 4 metros de altura. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 265 a 2 800 m.s.n.m.</p>	Nativa	<p>(De la Torre et al., 2008); (Jardín Botánico de Quito, 2021a); (Loyola, 2019).</p>
10		<p><i>Aristeguietia cacalioides (Kunth) R.M. King & H. Rob</i></p>	Matico	<p>Esta especie se desarrolla en suelos compactados y poco profundos, floreciendo durante todo el año. Sus flores atraen a mariposas y abejas, siendo un hospedero de polinizadores. Este arbusto es usado para aliviar dolores de cabeza y muela. Puede llegar a medir hasta 4 metros de altura. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 500 a 2 840 m.s.n.m.</p>	Endémica	<p>(Herbario Azuay, 2021); (Loyola, 2019).</p>



11		<p><i>Monnina pycnophylla</i> B. Eriksen.</p>	Higuila	<p>Esta especie puede desarrollarse en claros de bosque nativo y puede asociarse con otras especies de plantas para realizar programas de reforestación. Mantiene la humedad del suelo. Las aves son atraídas por sus frutos verdes y jóvenes, de los cuales se alimentan. Es un arbusto semi caído que puede llegar a medir unos 1,5 metros. El ganado se alimenta de sus hojas. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 400 a 2 900 m.s.n.m.</p>	Endémica	<p>(Loyola, 2019); (Herbario Azuay, 2021).</p>
12		<p><i>Baccharis obtusifolia</i> Kunth</p>	Yadaacuten	<p>Es un arbusto de bosque secundario que posee hojas anchas y con un margen lobulado, de color verde claro en la parte final de la hoja y en el resto un color verde oscuro. No presenta flores y puede desarrollarse en lugares intervenidos, en condiciones secas y con suelos poco profundos. Posee frutos carnosos pequeños que son alimento de aves. Puede tener una altura de 1 metro. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 300 a 2 920 m.s.n.m.</p>	Nativa	<p>(Herbario Azuay, 2021)</p>
13		<p><i>Duranta mutissii</i> L.f.</p>	Espino	<p>Este arbusto se puede encontrar en bosques montanos de países como Venezuela, Colombia, Perú y Ecuador. Se distribuye entre los 1800 y 3000 metros de altitud. Su crecimiento es rápido. Se establece en un variado rango de ambientes, desde lugares húmedos como quebradas hasta sitios con suelos rocosos o erosionados. Atrae a todo tipo de polinizadores entre los cuales destacan el colibrí <i>Metallura baroni</i> que se alimenta del néctar de sus flores. Sus frutos carnosos sirven de alimento para la pava andina (<i>Penelope montagnii</i>). Se recomienda utilizarla en programas de restauración pues conserva el suelo y ayuda a contrarrestar la erosión. En el cerro Mishquiyacu se lo</p>	Nativa	<p>(Minga y Verdugo, 2016); (Royal Botanic Gardens Kew, 2021); (Herbario Azuay, 2021). Fuente imagen: (Missouri Botanical Garden, 2021)</p>

				puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 265 a 2 900 m.s.n.m.		
14		<i>Alnus acuminata Kunth</i>	Aliso	Es una especie de árbol que prospera en laderas muy inclinadas que están en la vertiente oriental de la cordillera real de los Andes. Está catalogada como pionera, que se puede utilizar en etapas sucesionales tempranas para tener una revegetación rápida en orillas de quebradas, ríos, áreas con deslizamientos y zonas degradadas por pastoreo. Por lo que se recomienda para programas de restauración. Es capaz de fijar nitrógeno de la atmosfera e incorporar en el suelo. Ayuda a otras especies a establecerse por lo que se la pueda asociar con casi cualquier otra especie. Puede restablecer servicios ambientales como recarga de acuíferos y fijación de carbono. Es capaz de regenerar áreas degradadas. Puede medir hasta 20 metros de altura. En el cerro Mishqiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 300 a 2 880 m.s.n.m.	Nativa	(Pacheco y Quisbert, 2016)
15		<i>Dodonaea viscosa Jacq.</i>	Chanchillo o crestona	Es una especie de arbusto que resiste condiciones climáticas bruscas como sequías. Se puede desarrollar en suelos con pendientes fuertes, degradados o erosionados. Facilita la sucesión natural en zonas degradadas cuando se la emplea en programas de restauración ecológica. Resiste el sobre pastoreo y fuego, por lo que es un indicador de disturbios. Se puede reproducir rápidamente por su dispersión fácil. Puede medir cerca de los 2 metros de altura. En el cerro Mishqiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 265 a 2 940 m.s.n.m.	Nativa	(De la Torre et al., 2008)

16		<i>Podocarpus sprucei</i> Parl.	Huabisay	<p>Esta especie de árbol se adapta a una gran variedad de suelos entre rocosos y arenosos. Resiste moderadamente a sequías. Tiene una alta capacidad de generar rebrotes. La regeneración natural es buena en suelos arenosos. Se puede extraer madera y puede alcanzar una altura de 7 metros. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 400 a 2 900 m.s.n.m.</p>	Nativa	(Minga y Verdugo, 2016); (Herbario Azuay, 2021).
17		<i>Streptosolen jamesonii</i>	Jaboncillo	<p>Esta especie de arbusto atrae a una gran variedad de aves e insectos. Puede crecer rápidamente y desarrollarse en suelos poco profundos con nutrientes limitados. Sus hojas son utilizadas como jabón para asearse el rostro. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 300 a 2 500 m.s.n.m.</p>	Nativa	(De la Torre et al., 2008) Fuente imagen: (Stang, 2007)
18		<i>Croton</i> sp	N/A	<p>Se puede desarrollar en los valles interandinos y resistir condiciones de sequía. Este arbusto es utilizado para programas de reforestación, ya que sirve como planta nodriza o facilitadora para plántulas que necesitan de condiciones más favorables. Se la puede asociar con otras especies para soportar ambientes hostiles. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 400 a 2 800 m.s.n.m.</p>	Indeterminada	(De la Torre et al., 2008)

19		<p><i>Morella pubescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.)</p>	Laurel	<p>Es una especie pionera que puede desarrollarse en áreas degradadas, ya que son capaces de reproducirse rápidamente. Este árbol permite el crecimiento de otras especies pues son capaces de recuperar el suelo mediante la mejora de su fertilidad. Intervienen en la formación de suelo con lo que mejora su productividad. Es una especie no leguminosa que fija nitrógeno en el suelo por medio de una asociación con actinomicetos. Puede alcanzar una altura de 8 a 16 metros, dependiendo del suelo. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 400 a 2 850 m.s.n.m.</p>	Nativa	<p>(De la Torre et al., 2008); (Parra, 2003).</p>
20		<p><i>Lantana rugosa</i></p>	Inga rosa	<p>Este arbusto es capaz de establecerse en una gran cantidad de suelos, pudiendo establecerse en suelos poco profundos. Resisten la sequía y exposición al sol. Es hospedera de insectos polinizadores. Tiene usos ornamentales. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 600 a 2 900 m.s.n.m.</p>	indeterminada	<p>(De la Torre et al., 2008)</p>
21		<p><i>Ferreyranthus verbascifolius</i> (Kunth) H. Rob. & Brettell Cotag</p>	Cotac	<p>Esta especie de arbusto tiene tallos de color blanco muy pilosos, con hojas ásperas. Es recomendado para programas de reforestación, aplicándolo en etapas tempranas de sucesión, ya que es una especie pionera. Al tener una alta producción de hojarasca, contribuye a recuperar suelos degradados, apoyando su conservación pues incorpora materia orgánica al suelo. Puede alcanzar una altura de 4 metros. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 450 a 2 850 m.s.n.m.</p>	Nativa	<p>(Minga y Verdugo, 2016); (Herbario Azuay, 2021)</p>

22		<p><i>Cantua pyrifolia</i> Juss. <i>ex Lam.</i></p>	Flor del inca	<p>El hábitat de esta especie de arbusto son los bosques y matorrales interandinos, se la puede localizar también en márgenes de quebradas y ríos. Puede crecer en pendientes con fuertes inclinaciones. Por sus flores atrae a una gran variedad de aves e insectos polinizadores. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 500 a 2 900 m.s.n.m.</p>	Nativa	(Herbario Azuay, 2021)
23		<p><i>Smalanthus</i> <i>sp</i></p>	N/A	<p>Es un arbusto de tallos rojos y huecos, con inflorescencias en grandes cabezuelas heterógamas. Se puede desarrollar en una amplia variedad de suelos entre los cuales pueden estar los poco profundos. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 560 a 2 800 m.s.n.m.</p>	Indeterminada	(Herbario Azuay, 2021)
24		<p><i>Rhamnus granulosa</i> (Ruiz y Pav.) Weberb. Ex MC Johnst</p>	Ayarrambran	<p>Esta especie de árbol se la suele encontrar en bosques maduros. Su regeneración natural es limitada y su capacidad de rebrote es nula. Suele florecer en los meses de julio y agosto, y generar frutos en los meses de noviembre y diciembre. Estos frutos son alimento de aves, las mismas que esparcen sus semillas. Se recomienda utilizarla para programas de restauración pues ayuda a regenerar el suelo y a estabilizarlo. Puede alcanzar una altura de 4 metros. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 500 a 2 915 m.s.n.m.</p>	Nativa	(Herbario Azuay, 2021) Fuente imagen: (Herbario Azuay, 2021)

25		<p><i>Miconia aspergillaris</i> (Bonpl.) Naudin.</p>	Sérrac	<p>Es una especie pionera que se adapta a una gran variedad de suelos y se recomienda incluirla en programas de restauración, ya que muchas aves silvestres se alimentan de sus frutos. Sus flores de color amarillo cremoso también atraen a polinizadores. Este árbol se puede encontrar en bosques montanos del callejón interandino. Alcanza una altura de hasta 5 metros. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 400 a 2 870 m.s.n.m.</p>	<p>Nativa</p> <p>(Minga y Verdugo, 2016); (Herbario Azuay, 2021); (De la Torre et al., 2008). Fuente imagen: (Herbario Azuay, 2021)</p>
26		<p><i>Hesperomeles obtusifolia</i> Pers. Lindl</p>	Cerote	<p>Es una especie de la cual se puede obtener productos como la madera, carbón y leña. Sus frutos pueden ser ingeridos por humanos. Se recomienda utilizarla en programas de restauración pues genera beneficios para el suelo y sus frutos sirven de alimento para aves dispersoras de semillas. Este arbusto al igual que la <i>Hesperomeles Ferruginea</i> sus propágulos sirven de comida para el oso de anteojos. Puede alcanzar alturas de hasta 3 metros. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 500 a 2 900 m.s.n.m.</p>	<p>Nativa</p> <p>(De la Torre et al., 2008); (Herbario Azuay, 2021).</p>

27



*Ambrosia
arborescens*
Mill

Altamisa


Este arbusto tiene un importante valor fitosanitario, ya que se la utiliza para controlar plagas. Se la encuentra comúnmente en los valles interandinos. Resiste la sequía y se puede desarrollar en suelos erosionados y sueltos, pudiendo soportar un pH ligeramente alcalino. Es una especie pionera y puede asociarse a otras especies de plantas como por ejemplo la *Baccharis latifolia*. Tiene usos medicinales. En el cerro Mishquiyacu se lo puede encontrar en un rango altitudinal de entre los 2 280 a 2 850 m.s.n.m.

Nativa

(Jardín Botánico de
Quito, 2021b);
(Herbario Azuay,
2021).

Yo, **Paúl Israel Quezada Padilla** portador(a) de la cédula de ciudadanía N.º 0105542245. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Propuesta de restauración ecológica en el cerro Mishqiyacu mediante una metodología multicriterio”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 23 de junio de 2021



F:
Paúl Israel Quezada Padilla
C.I. 0105542245