



Técnicas geoespaciales para la evaluación del impacto ambiental de las obras civiles de mitigación de lahares del volcán Cotopaxi

Carrión Peña Verónica Carolina y Torres Luzón Geovanny Patricio

Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Geógrafo y del Medio Ambiente

Msc. Fernández Quintana, Miriam del Carmen

27 abril del 2020



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Técnicas geoespaciales para la evaluación del impacto ambiental de las obras civiles de mitigación de lahares del volcán Cotopaxi**” realizado por los señores **Carrión Peña, Verónica Carolina y Torres Luzón, Geovanny Patricio**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 22 de junio de 2020

Fernández Quintana, Mirian del Carmen Msc.

C.C 1710351816

**Document Information**

Analyzed document escrito_tesis_carrion_torres.docx (D75321411)
Submitted 6/19/2020 9:07:00 PM
Submitted by
Submitter email mgutierrez@difusion.com.mx
Similarity 9%
Analysis address mgutierrez1.GDC@analysis.arkund.com

<https://secure.arkund.com/view/72563500-181916-656074#/>

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Miriam del Carmen Fernandez Quintana".

FERNANDEZ QUINTANA, MIRIAM DEL CARMEN Msc.
DIRECTORA DE TESIS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Carrión Peña, Verónica Carolina** y **Torres Luzón, Geovanny Patricio**, con cédulas de ciudadanía n° 1719361709 y 1718122672 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Técnicas geoespaciales para la evaluación del impacto ambiental de las obras civiles de mitigación de lahares del volcán Cotopaxi** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 27 de abril de 2020

Carrión Peña, Verónica Carolina

C.C: 1719361709

Torres Luzón, Geovanny Patricio

C.C: 1718122672



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Carrión Peña, Verónica Carolina** y **Torres Luzón, Geovanny Patricio**, con cédulas de ciudadanía n° 1719361709 y 1718122672, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Técnicas geoespaciales para la evaluación del impacto ambiental de las obras civiles de mitigación de lahares del volcán Cotopaxi**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 27 de abril del 2020

Carrión Peña, Verónica Carolina

C.C: 1719361709

Torres Luzón, Geovanny Patricio

C.C: 1718122672

Dedicatoria

El presente trabajo lo dedico con mucho amor, a mis padres, Lupe Peña y Henry Carrión, quiénes han creído siempre en mí, me han motivado a seguir adelante por complicado que sea el camino para lograr el objetivo, dándome fuerza, mimos y regaños, siempre inculcándome valores, gracias por el esfuerzo que han hecho para darme los estudios y los pequeños placeres de la vida, algún día espero poder recompensarlos.

A mi hermano Fernando, que ha sido mi guía para crecer como persona y profesionalmente, desde muy pequeña enseñándome grandes cosas y siempre cuidando de mí, para mis sobrinos Martín y Paula, quienes son la alegría del hogar, con sus ocurrencias, abrazos y besos, espero algún día estén orgullosos de su tía, los amo mucho.

A David Sánchez, quién durante este tiempo ha sido un gran apoyo, compañero de aventuras, concejero, mejor amigo, mi novio, con quién espero poder seguir compartiendo momentos de alegrías y tristezas.

A toda mi familia y amigos, quienes me han apoyado a no rendirme y se han preocupado por mí, en especial a mi tía Norma, mi cuñada Efi, mis amigos Tania y Fercho, muchas gracias. A mi compañero de tesis Pato, por la paciencia de todos estos años, que desde el inicio de esta etapa fuimos amigos y ahora la culminamos juntos, por los grandes momentos, discusiones, desveladas, risas y enseñanzas, gracias por muchas de las veces decirme en que fallaba. ¡Lo logramos!

Verónica Carrión

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de titulación a mis padres; Luis Torres y Mercy Luzón, por su dedicación y esfuerzo en apoyarme y siempre velar para que no me falte nada; por sus consejos y sobre todo por su enseñanza como persona.

A mi hermano “Junior”, por ser el ejemplo del hermano mayor y por el apoyo desinteresado que siempre me brindaba.

A toda mi familia; herman@s, tí@s, prim@s, los cuales siempre estuvieron pendientes de mi proceso educativo y personal.

A mi gran amiga, y compañera de tesis “Verito”, ya que con su apoyo y confianza hizo más fácil la carrera universitaria. Desde el primer semestre hasta la titulación. Me llevo una amistad verdadera y duradera.

A tod@s mis amig@s y herman@s scouts quienes siempre fueron ese ‘acolite’ que toda persona necesita.

Patricio Torres

Agradecimiento

A nuestra directora de tesis, Das. Miriam Fernández Mcs, por la ayuda, orientación, paciencia y tiempo, para lograr culminar con éxito este proyecto.

A los docentes, Ing, Oswaldo Padilla Ph.D y Ing. Marco Masabanda Ph.D, por colaborarnos con insumos y conocimientos en el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE, por la oportunidad de habernos formado en sus instalaciones como profesionales en la carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente.

Un agradecimiento especial a nuestros familiares y amigos que nos colaboraron a lo largo de este camino.

Verónica Carrión y Patricio Torres

Índice de Contenido

Certificación	2
Urkund	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento	8
Resumen	17
Abstract.....	18
Capítulo I.....	19
Generalidades.....	19
Planteamiento del Problema.....	19
Antecedentes	19
Justificación del Problema	22
Objetivos	24
<i>Objetivo General.....</i>	<i>24</i>
<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>24</i>
Capítulo II.....	25
Marco Teórico.....	25
Volcán Cotopaxi	25

	10
Riesgo Volcánico.....	25
Lahares	25
Medidas de Mitigación	27
Obras de Mitigación.....	28
Definición de Presa	29
Presas como Obras de Mitigación	29
Presas Mixtas.....	29
Impacto Ambiental.....	30
Evaluación de Impactos Ambientales (EIA)	31
Estrategias Ambientales.....	33
Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	33
Evaluación Multicriterio (EMC).....	34
Proceso Analítico Jerárquico (AHP).....	35
Capítulo III.....	37
Caracterización del Proyecto	37
Presa del Río El Salto.....	37
Presa del Río Pita.....	43
Presa Río Aláquez.....	48
Capítulo IV	54
Caracterización Ambiental del Área de Influencia	54
Área de Influencia.....	54
Componente Físico	58
<i>Clima</i>	58

	11
<i>Hidrografía</i>	61
<i>Topografía</i>	65
<i>Geología</i>	69
<i>Geomorfología</i>	76
<i>Suelo</i>	81
Componente Biótico.....	86
<i>Fauna</i>	86
<i>Flora</i>	89
Componente Social.....	93
<i>Demografía</i>	93
<i>Vivienda</i>	94
Capítulo V	96
Metodología	96
Evaluación Multicriterio (EMC).....	98
Matriz de Importancia Ambiental (MIA).....	107
Capítulo VI	112
Resultados	112
Evaluación Multicriterio (EMC).....	112
<i>Componente Físico</i>	112
<i>Componente Biótico</i>	115
<i>Componente Social</i>	117
Matriz de Importancia Ambiental (MIA).....	119
<i>Fase de Construcción</i>	119

	12
Componente Físico.....	119
Componente Biótico.....	120
Componente Social.....	121
<i>Fase de Operación</i>	122
Componente Físico.....	122
Componente Biótico.....	124
Componente Social.....	125
<i>Fase de abandono</i>	126
Componente Físico.....	126
Componente Biótico.....	127
Componente Social.....	128
Capítulo VII	130
Estrategias Ambientales	130
Capítulo VIII	132
Conclusiones y Recomendaciones	132
Conclusiones.....	132
Recomendaciones.....	134
Referencias	136
Anexos	140

Índice de Tablas

Tabla 1	Cálculo del Tirante de Agua en la Entrada del Canal para el Río El Salto	41
Tabla 2	Presupuesto para la Construcción de la Presa El Salto.....	42
Tabla 3	Cálculo del Tirante de Agua en la Entrada del Canal para el Río Pita	47
Tabla 4	Presupuesto para la Construcción de la Presa Pita.....	48
Tabla 5	Presupuesto para la Construcción de la Presa Aláquez	53
Tabla 6	Estaciones de medición.....	58
Tabla 7	Temperatura y Humedad.....	59
Tabla 8	Lluvias Anuales en las Estaciones y Sitios de Obra	61
Tabla 9	Microcuencas de la Zona Norte.....	62
Tabla 10	Microcuenca de la Zona Sur.....	62
Tabla 11	Tipos de Pendientes en la Zona Norte y Sur	65
Tabla 12	Formaciones Geológicas.....	69
Tabla 13	Génesis Geomorfológicas	76
Tabla 14	Órdenes del Suelo.....	81
Tabla 15	Especies faunísticas de la zona norte y sur.....	86
Tabla 16	Especies representativas	87
Tabla 17	Clasificación de la cobertura vegetal	89
Tabla 18	Población de las zonas de estudio	93
Tabla 19	Auto identificación de la población de las zonas de estudio	94
Tabla 20	Tipos de Vivienda en las Zonas de Estudio	95
Tabla 21	Actividades del Proyecto	96
Tabla 22	Impactos Ambientales del Proyecto.....	97
Tabla 23	Lista y Fuente de las Variables Ocupadas para la EMC	99
Tabla 24	Criterios de Importancia para los Atributos	100

Tabla 25	Importancia de cada Atributo.....	101
Tabla 26	Escala en el Método de Comparación por Pares.....	103
Tabla 27	Importancia de cada Variable	103
Tabla 28	AHP del Componente Físico	104
Tabla 29	AHP del Componente Biótico	105
Tabla 30	AHP del Componente Social	105
Tabla 31	Matriz de Importancia Ambiental (MIA).....	108
Tabla 32	Categorías de Impacto Ambiental.....	111
Tabla 33	Matriz Sumatoria del Componente Físico en la Etapa de Construcción.....	119
Tabla 34	Matriz Sumatoria del Componente Biótico en la Fase de Construcción.....	120
Tabla 35	Matriz Sumatoria del Componente Social en la Fase de Construcción.....	121
Tabla 36	Matriz Sumatoria del Componente Físico en la Fase de Operación	122
Tabla 37	Matriz Sumatoria del Componente Biótico en la Fase de Operación	124
Tabla 38	Matriz Sumatoria del Componente Social en la Fase de Operación	125
Tabla 39	Matriz Sumatoria del Componente Físico en la Fase de Abandono.....	126
Tabla 40	Matriz Sumatoria del Componente Biótico en la Fase de Abandono	127
Tabla 41	Matriz Sumatoria del Componente Social en la Fase de Abandono	128

Índice de Figuras

Figura 1 Morfología de un Lahar.....	27
Figura 2 Ejemplo de Presa Mixta en Almaty, Kazajistán	30
Figura 3 Matriz de Comparación de Pares (para W criterios).....	36
Figura 4 Franja de Diseño de la Presa del Río El Salto	38
Figura 5 Geometría del Contrafuerte para el Río El Salto	39
Figura 6 Área de Inundación Río El Salto	40
Figura 7 Ejemplo del Vertedero de Cresta Ancha	41
Figura 8 Ejemplo de Ángulo de Alabeo de la Alcantarilla	42
Figura 9 Franja de Diseño de la Presa del Río Pita	43
Figura 10 Geometría del Contrafuerte para el Río Pita	45
Figura 11 Área de Inundación del Río Pita	46
Figura 12 Área de Inundación Quebrada del Río Aláquez	50
Figura 13 Sección Transversal de la Presa Aláquez.....	50
Figura 14 Mapa de Ubicación Zona Norte	56
Figura 15 Mapa de Ubicación Zona Sur.....	57
Figura 16 Mapa de Isotermas	60
Figura 17 Hidrografía zona norte	63
Figura 18 Hidrografía zona sur	64
Figura 19 Pendientes Zona Norte	67
Figura 20 Pendientes zona sur	68
Figura 21 Geología Zona Norte	74
Figura 22 Geología Zona Sur	75
Figura 23 Geomorfología Zona Norte	79
Figura 24 Geomorfología Zona Sur	80

	16
Figura 25 Orden de Suelos Zona Norte	84
Figura 26 Orden de Suelos Zona Sur	85
Figura 27 Idoneidad de Hábitat para cada Especie Representativa	88
Figura 28 Cobertura Vegetal Zona Norte	91
Figura 29 Cobertura Vegetal Zona Sur	92
Figura 31 Impacto Ambiental en el Componente Físico	114
Figura 32 Impacto Ambiental en el Componente Biótico	116
Figura 33 Impacto Ambiental en el Componente Social	118

Resumen

Para la mitigación de los lahares, que son el mayor riesgo asociado al volcán Cotopaxi, se pretende construir presas que retengan los flujos de lodo y escombros. Estas obras civiles deberán ser calificadas ambientalmente previo a su ejecución, ya que pueden causar daños al entorno natural. En este estudio se evaluaron los impactos ambientales que ocasionará la implementación de las presas en las quebradas: Pita, Salto y Aláquez, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC), para los componentes físico, biótico y social en las diferentes fases del proyecto. Se normalizaron los valores de los atributos de cada variable según la susceptibilidad de sufrir algún impacto ambiental, y se usó el Análisis Jerárquico (AHP) para comparar la importancia de cada variable, estableciendo un peso para cada una de ellas, a través de la Matriz de Saaty. Los mapas de magnitud de impactos ambientales se obtuvieron mediante algebra de mapas, con la técnica de combinación lineal ponderada (WLC). Para las fases de operación y abandono, se utilizó la metodología de Matriz de Importancia Ambiental (MIA). Los resultados obtenidos con la técnica (EMC), muestran que, para los componentes físico y biótico, los impactos serán negativos, y para el componente social, positivos. Así mismo, se diferenció las diversas áreas donde la magnitud del impacto ambiental será mayor, siendo las zonas más cercanas a las presas. Con estos mapas se podrá aplicar las estrategias ambientales eficientemente.

PALABRAS CLAVE

- **EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES**
- **TÉCNICAS GEOESPACIALES**
- **EVALUACIÓN MULTICRITERIO**
- **OBRAS DE MITIGACIÓN DE LAHARES**

Abstract

In the mitigation of lahars, which are the greatest risk associated with the Cotopaxi volcano, the aim is to build dams that retain mud and debris flows. These civil works must be environmentally qualified prior to their execution, since they can cause damage to the natural environment. In this study the environmental impacts that the implementation of the dams in the streams: Pita, Salto and Aláquez will be evaluated, through the use of Geographic Information Systems (GIS) and Multicriteria Evaluation techniques (EMC), for the physical components, biotic and social in the different phases of the project. The values of the attributes of each variable were normalized according to the susceptibility of suffering an environmental impact, and the Hierarchical Analysis (AHP) was used to compare the importance of each variable, establishing a weight for each of them, through the Matrix from Saaty. The maps of magnitude of environmental impacts were obtained using map algebra, using the weighted linear combination technique (WLC). For the operation and abandonment phases, the Environmental Importance Matrix (MIA) methodology was used. The results obtained with the technique (EMC), show that, for the physical and biotic components, the impacts will be negative, and for the social component, positive. Likewise, the different areas where the magnitude of the environmental impact will be greater were differentiated, being the areas closest to the dams. With these maps, environmental strategies can be applied efficiently.

KEYWORDS

- **EVALUATION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS**
- **GEOSPACE TECHNIQUES**
- **MULTI-CRITERIA EVALUATION**
- **LAHARES MITIGATION WORKS**

Capítulo I

Generalidades

Planteamiento del Problema

Los organismos estatales dentro de sus competencias contemplan medidas de prevención ante fenómenos naturales con el fin de precautelar las vidas humanas y disminuir las pérdidas económicas.

En este contexto, la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE cuenta con estudios multidisciplinarios que analizan la factibilidad de la construcción de obras civiles diseñadas para la protección, regulación y control de lahares en las quebradas representativas del volcán Cotopaxi, para que cumplan con los objetivos deseados.

Según las regulaciones emitidas por el Ministerio del Ambiente todos los proyectos, obras o actividades, deben ser evaluados ambientalmente, con el fin de identificar los posibles impactos ambientales que puedan provocar al entorno físico.

La evaluación ambiental ha sido realizada frecuentemente aplicando matrices de valoración que permiten calcular la magnitud de los impactos, pero que no refleja espacialmente el comportamiento de los mismos, siendo así importante incluir nuevos métodos y herramientas que mejoren la efectividad de este proceso, por ese motivo la aplicación de herramientas geoespaciales permitirá representar gráficamente la dinámica predictiva de los impactos ambientales, derivados de la construcción, operación y abandono del proyecto.

Antecedentes

El volcán Cotopaxi es considerado uno de los volcanes activos más alto de mundo con una altitud de 5897 metros sobre el nivel del mar (msnm). Está ubicado

sobre la Cordillera Oriental (Real), a una distancia de 45 km al Sureste de Quito y 35 km al Noreste de Latacunga. (P Mothes et al., 2013) Su superficie de nieve al igual que sus campos de hielo cubren aproximadamente 20 km², los mismos que tienen un volumen de 0.5-1.0 km³. Tres sistemas importantes de río drenan desde el volcán, los cuales son: el Río Pita al norte; el Río Cutuchi al oeste y suroeste; y el Río Tambo- Tamboyacu al sureste y este. (Patricia Mothes, 1992)

Desde que se tienen registros históricos, el volcán Cotopaxi ha tenido 5 periodos o ciclos eruptivos: 1532-1534, 1742-1744, 1766-1768, 1853-1854 y 1877-1880, es decir, ha producido alrededor de 30 erupciones desde principios del siglo XVI. Una de las erupciones más fuertes registradas, fue en 1742 que provocó cuantiosas afectaciones en la ciudad de Nuevo León, en lo que ahora se conoce como Mulaló. (IGEPN, 2015)

En los eventos de 1534, 1742-44, 1766, 1768 y 1877, se registró una gran afectación en las áreas rurales aledañas al volcán Cotopaxi, provocados por los grandes lahares, que causaron fatalidades y daños sustanciales en las infraestructuras. (E Aguilera, 2004)

En 1877 de forma imponente, se produjo una erupción de la cual se tiene varios registros, la cual emitió grandes cantidades de lava, fuego con piroclastos, lahares y rocas incandescentes. Tres lahares se dirigieron hacia los ríos Pita y San Pedro en el flanco norte, afectando las comunidades de Sangolquí, San Rafael y Tumbaco, por otro lado, once lahares significativos descendieron por el flanco sur de la cuenca del río Cutuchi, afectando a Latacunga, Salcedo y Baños. Se estimaron que las descargas máximas de este suceso fueron de 50.000 y 55.000 m³ para el drenaje norte y sur respectivamente; estos flujos de lodo fueron tan caudalosos que desbordaron fácilmente los cauces naturales de los ríos, provocando la muerte de más de 1.000 personas,

pérdidas de animales de granja y la destrucción de construcciones. (Ettinger, 2007) Los lahares tuvieron un tiempo de alrededor de media hora en llegar a Latacunga, menos de 1 hora al Valle de los Chillos, casi tres horas a la zona de Baños (Tungurahua) y cerca de 18 horas en alcanzar la desembocadura del río Esmeraldas en el océano Pacífico. (Bonito & Naranjo, 2016) Por su parte en la erupción de 1901, se presentó lahares imperceptibles debido a la escasa cantidad de glaciación, esto hizo que se generen lodos que llegaron a las riberas del río Cutuchi, afortunadamente no hubo víctimas en su paso.

Debido a ciertas consideraciones propias del volcán Cotopaxi como: la frecuencia de sus episodios, su estilo eruptivo, cobertura glaciación, relieve y por la cantidad de poblaciones potencialmente expuestas a sus amenazas, en 1976 se instaló la primera estación sísmica permanente, pero desde 1983 ha sido monitoreado continuamente por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN). (IGEPN, 2015)

En abril del 2015, la red de monitorización observó un aumento en la actividad sísmica al igual que emisiones de dióxido de azufre (SO₂). Transcurrido 4 meses de señales de alerta, el 14 de agosto del 2015 el IG-EPN anunció dos explosiones pequeñas, que provocó una caída moderada de ceniza en los sectores de Boliche, Tambillo Jambelí, Pedregal, Amaguaña, Alóag y Machachi, después de estas explosiones la actividad del coloso se caracterizó por la emisión semicontinua a continua de ceniza; afectando la cotidianidad de las poblaciones ubicadas especialmente al occidente del volcán debido a la dirección de los vientos. La erupción se mantuvo con emisiones de ceniza de menor intensidad hasta el final de noviembre 2015. (IGEPN, 2015)

La red de monitoreo del volcán Cotopaxi ha crecido constantemente hasta la configuración actual que asegura una vigilancia adecuada de este volcán. Actualmente la actividad interna y externa del volcán se mantiene en niveles bajos. (IGEPN, 2019)

En el año 2017 y 2019 en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se realizó trabajos de titulación orientados al diseño de obras de protección ante el flujo de los lahares del volcán Cotopaxi para la cuenca norte y cuenca sur. Los proyectos consisten en el diseño hidráulico de presas mixtas compuestas de hormigón y tierra para los ríos El Salto, Pita y Aláquez que sirvan para retener el flujo de lodo y escombros (lahares), procedentes del casquete glaciar del volcán Cotopaxi en caso de existir un nuevo episodio eruptivo de gran magnitud. En estos trabajos también existe información del análisis de la ubicación de las obras en base a la topografía de la zona, el estudio hidrológico de cada río, la determinación del volumen del lahar que se embalsa en cada punto de cierre en función del área del casquete glaciar. Estos proyectos tienen la finalidad de salvaguardar las vidas humanas de los habitantes de las zonas de San Rafael, Sangolquí, Mejía, Latacunga y poblaciones vecinales, además, proteger la infraestructura civil la cual ha ido creciendo considerablemente. (Bonito & Naranjo, 2016)

Justificación del Problema

En el presente año, el volcán Cotopaxi se encuentra en estado activo con niveles bajos en la actividad interna y superficial. Aunque no es posible determinar una fecha de ocurrencia de una próxima erupción de este volcán, es un hecho que tal evento natural acontecerá. (Eduardo Aguilera & Toulkeridis, 2005)

La principal afectación del Volcán Cotopaxi son los lahares que pueden afectar a pueblos y ciudades que se encuentren en su camino con millones de toneladas de

escombros volcánicos, arrastrando cualquier objeto que encuentre a su paso. En la actualidad cerca de 300000 personas viven cerca del volcán o de los drenajes importantes tales como ríos y quebradas. (Bonito & Naranjo, 2016)

Con el fin de prevenir las consecuencias potencialmente catastróficas de los lahares, se precisan la construcción de estructuras adecuadas de protección y mitigación, localizadas en puntos estratégicos que permitan proteger a las zonas más vulnerables.

Según la Ley de Gestión Ambiental (2004), las obras públicas, privadas o mixtas, y los proyectos de inversión públicos o privados que puedan causar impactos ambientales serán calificados previamente a su ejecución, por los organismos descentralizados de control, conforme el Sistema Único de Manejo Ambiental, cuyo principio rector será el precautelatorio.

Para las obras civiles de mitigación, el proceso de evaluación de impacto ambiental pretende identificar los impactos positivos y negativos de las construcción, operación y abandono de cada proyecto, siendo una herramienta objetiva, eficaz e integral. (Amilcar Ramos, 2004)

No existe una metodología única y universal para la identificación de los impactos ambientales, ya que se cuenta con gran cantidad de interacciones entre los factores y variables que intervienen en una determinada zona, siendo necesario contar con diferentes metodologías que permitan evaluar la diversidad de medios y componentes ambientales potencialmente afectados. (García, 2004)

La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) es una herramienta que sirve para el manejo de datos espaciales, aportando soluciones a

problemas geográficos y siendo útil en algunas fases del proceso de evaluación de impacto ambiental (García, 2004), ya que relaciona todos los elementos de afectación al superponer información en una zona geográfica y de esta forma identificar y representar los impactos espacialmente. (Retamal, 2011)

Así mismo, las matrices de doble entrada constituyen una metodología generalmente utilizada para evaluar los impactos ambientales mediante una interacción de factores ambientales y actividades del proyecto, logrando establecer la magnitud e importancia de cada impacto ambiental. (Retamal, 2011)

Objetivos

Objetivo General

Evaluar los impactos ambientales mediante técnicas geoespaciales y matriz de importancia ambiental en las diferentes fases del proyecto (construcción, operación y abandono) de las obras civiles de mitigación para lahares del volcán Cotopaxi en las quebradas: Pita, Salto y Aláquez.

Objetivos Específicos

- Caracterizar las variables de los componentes físico, biótico y social de las zonas de estudio donde se implantarán las presas.
- Identificar las actividades e impactos ambientales significativos en las fases del proyecto (construcción, operación y abandono).
- Evaluar los impactos ambientales mediante técnicas geoespaciales que permitan visualizarlos espacialmente según su intensidad y utilizando la matriz de importancia ambiental.
- Plantear estrategias ambientales para las etapas del proyecto, de acuerdo con los resultados de la evaluación de los impactos ambientales.

Capítulo II

Marco Teórico

Volcán Cotopaxi

El Cotopaxi (5.897 m) es el segundo volcán activo más alto del mundo, la parte más alta del cono está recubierta por una gruesa capa de hielo glacial que, en la actualidad, se extiende desde los 4.600 m de altura. La base del cono tiene 22 km de diámetro y sus laderas una inclinación de 35°. (Eduardo Aguilera & Toulkeridis, 2005)

El coloso se encuentra a una distancia de 35 km al NE de Latacunga, 45 km al SE de Quito y aproximadamente a 40 km al N de Sangolquí. (Parra, 2016)

Según (Eduardo Aguilera & Toulkeridis, 2005) el volcán Cotopaxi es uno de los más peligrosos del Ecuador, debido a su intensa actividad reciente y a su predisposición para originar lahares, producto de la fusión de los glaciares.

Riesgo Volcánico

El riesgo volcánico se basa fundamentalmente en las últimas erupciones catastróficas que han ocurrido y donde existe pérdida de vidas humanas y destrucción de bienes. Se enfatiza la labor de comunicación y socialización que realizan varios organismos oficiales de todo el mundo. (Bonito & Naranjo, 2016) El riesgo es un valor numérico que resulta de la multiplicación de la peligrosidad, vulnerabilidad y exposición, ésta se produce cuando interfiere sobre elementos antrópicos. (Linares et al., 2004)

Lahares

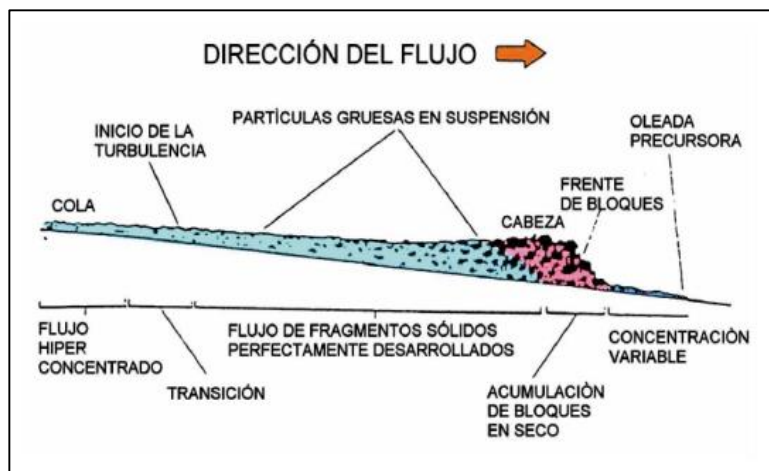
Son una mezcla de materiales volcánicos como: rocas, piedra pómez y arena que son movilizados por el agua proveniente de la fundición de un casquete glacial o derretimiento de la nieve. Se originan en las pendientes de los volcanes y se trasladan

rápidamente ladera abajo por la fuerza de la gravedad hacia los valles con velocidades de hasta 100 km/h siguiendo los drenajes naturales, de manera similar a un gran río de lodo y escombros pudiendo recorrer grandes distancias con un poder destructivo.

(Bonito & Naranjo, 2016)

Se diferencian notoriamente tres segmentos caracterizados por una variada concentración de sólidos en el borde superior del lahar, donde toda su configuración es representada por un cuerpo alargado como se observa en la Figura 1. “En la cabeza o frente de bloques, se almacenan los bloques de roca de gran tamaño, que han sido extraídos del cuerpo y se desplazan en seco, en el cuerpo la concentración de sólidos esta entre el 75 y 90% en peso y en la cola presenta una concentración de sólidos similar a la de un flujo hiperconcentrado del 45% en peso”. (Eduardo Aguilera & Toulkeridis, 2005)

Ya que los lahares representan un gran peligro, se han realizado muchos estudios como modelamientos del comportamiento del flujo, mapas de inundación y peligros de lahar, y de igual manera se han hecho varios acercamientos con líderes comunitarios y autoridades gubernamentales para comprender y minimizar los riesgos que pueda causar este fenómeno. (Major et al., 2018)

Figura 1*Morfología de un Lahar*

Nota: Recuperado de (Eduardo Aguilera & Toulkeridis, 2005)

Medidas de Mitigación

Es el término utilizado para relacionar todas las medidas de prevención, incluyendo la preparación, que puedan tomarse antes de que ocurra un fenómeno ya sea este natural o antrópico, y de esta manera reducir el riesgo al que estarían expuestas las poblaciones y las infraestructuras cercanas a las zonas de peligro. (Coburn et al., 1991)

La fecha de ocurrencia de ciertos fenómenos naturales como erupciones volcánicas, terremotos, tsunamis, etc., es imposible de predecir, sin embargo, gracias a análisis estadísticos se tiene un periodo de retorno que permite tener la certeza de que estos eventos naturales se produzcan nuevamente. Para el caso de las erupciones volcánicas que dan origen a la formación de lahares, existen dos tipos básicos de medidas de prevención y mitigación (Amigo et al., 2014):

a) Medidas estructurales

Son todas las acciones físicas como obras de ingeniería, que reducen el impacto que pueda generarse en zonas vulnerables interviniendo de forma directa sobre ciertas amenazas naturales. Entre dichas obras se tiene: diques en las riberas de ríos, instalaciones para el control de la erosión, muros de retención, excavaciones para deposición de flujos, canales de desviación de flujos, canales de drenaje, entre otras. (Amigo et al., 2014)

b) Medidas no estructurales

Estas no actúan de forma directa sobre el fenómeno natural, es decir no se requiere de obras de ingeniería. Las medidas no estructurales están impulsadas en desarrollo de programas preventivos que se enfocan en la capacitación masiva de las poblaciones aledañas a las zonas de peligro como: rutas de evacuación, mapas de riesgos, localización de puntos seguros, sistemas de alerta temprana, reglamentos de uso del suelo, entre otros. (Amigo et al., 2014)

Obras de Mitigación

Toulkeridis (2015), propone las siguientes obras de mitigación para los flujos de escombros o lahares.

- Excavación de zanjas
- Presas de retención de escombros
- Diques de desviación de escombros
- Muro de desviación de flujos con trampa de retención

Definición de Presa

Una presa es una obra civil que sirve como barrera, que se coloca cruzando un curso de agua o de un río, donde su principal función radica en retener el agua para controlar su caudal o a su vez para desviarlo. Existen diferentes tipos de presas que pueden variar según los materiales de construcción, de tamaño, desde pequeños terraplenes hasta estructuras macizas de hormigón. (CIGB-ICOLD, 2007)

Presas como Obras de Mitigación

Existen presas de tipo “SABO” que son estructuras de contención que habitualmente están construidas en las partes altas de los afluentes de las montañas, tiene el objetivo de captar los sedimentos como si fuera un embalse, minimizando o evitando que las formaciones de flujos de lodos provoquen grandes destrozos aguas abajo. (D. Gómez, 2012)

De forma general se menciona algunas de las obras que permiten controlar el flujo de escombros, por ejemplo:

- Obras de reducción ante la ocurrencia de un flujo
- Obras que detienen el flujo
- Obras de canalización para controlar la trayectoria del flujo
- Diques de orientación del flujo
- Embalses de decantación de los flujos

Presas Mixtas

Las presas mixtas son estructuras formadas por la combinación de materiales, por lo general de hormigón y tierra que van desde una altura de 30 a 80 m y tienen la finalidad de proporcionar mayor resistencia y estabilidad al deslizamiento y volcamiento.

(Flores & Pilataxi, 2017) (Ver Figura 2). Los materiales sueltos ocupados en las presas mixtas vienen de los suelos (tales como gravas, arcillas, gravillas, limos, arenas) y rocas disponibles en el sector donde se implantará la presa, resultando más económicas que solamente las de hormigón. (Sandoval, 2018)

Figura 2

Ejemplo de Presa Mixta en Almaty, Kazajistán



Nota: Recuperado de (Sandoval, 2016)

Impacto Ambiental

Según Aguilera (2010) el impacto ambiental es la alteración significativa (positiva o negativa) de la calidad del medio ambiente producida directamente o indirectamente por la mano del ser humano.

Según (Arias, 2014) existen diversos tipos de impactos ambientales, pero fundamentalmente se pueden clasificar, de acuerdo a su origen, provocados por:

- El aprovechamiento de recursos naturales ya sean renovables, tales como el aprovechamiento forestal o la pesca; o no renovables, tales como la extracción del petróleo o del carbón.

- Contaminación: todos los proyectos que producen algún residuo (peligroso o no), emiten gases a la atmósfera o vierten líquidos al ambiente.
- Ocupación del territorio: los proyectos que al ocupar un territorio modifican las condiciones naturales por acciones tales como desmonte, compactación del suelo y otras.

Evaluación de Impactos Ambientales (EIA)

La EIA es un conjunto de metodologías de gestión ambiental, con bastante experiencia acumulada y desarrollo constante, para enfrentar las consecuencias ambientales de los proyectos, específicamente, las relaciones de causa-efecto entre el proyecto y el medio en que se inserta. (A Ramos, 2004)

El objetivo principal de una EIA es predecir los impactos ambientales que se pudieran generar con el proyecto y una vez que inicien las actividades, quede garantizado lo mejor posible el funcionamiento y características del medio natural junto con la conservación de la salud y bienestar del ser humano. (Espinosa, 2010)

Con la evaluación de impactos ambientales la autoridad ambiental de un país establece la manera en que se debe llevar a cabo el proceso de gestión ambiental preventiva de proyectos de desarrollo, facilitando la decisión de su ejecución o rechazo (A Ramos, 2004)

Existen varias metodologías, las cuales representan a un amplio rango de opciones:

a) Listas de Chequeo

Son listas ordenadas de factores y parámetros ambientales que son afectados por la implementación de un proyecto, son de vital importancia en las primeras fases de

identificación y evaluación de los impactos en el EIA. Son exhaustivas, ninguna alteración al ambiente debe ser omitida, es por esto que su principal fin es el de identificar todas las posibles consecuencias que pueden traer las obras o el proyecto.

(R. Aguilera, 2010)

b) Opinión de expertos

Usualmente utilizada para señalar impactos específicos de un proyecto en cada componente ambiental. Los grupos de expertos identifican la información apropiada y elaboran modelos cualitativos/cuantitativos para la predicción de los impactos. (García, 2004)

c) Matriz de importancia ambiental

Es un método bastante usado en los procesos de EIA. Se han desarrollado para enfatizar rasgos característicos deseables, siendo una metodología muy útil para el estudio de diversas actividades dentro de los procesos de EIA. (García, 2004)

La matriz de importancia ambiental es utilizada para la valoración cualitativa de los impactos ambientales. Cada casilla de cruce en la matriz dará una idea del efecto de cada acción impactante sobre cada variable ambiental impactada. Esta valoración permite medir el impacto, en base al grado de manifestación cualitativa del efecto que quedará reflejado en lo que se define como importancia ambiental. (Conesa, 2010)

Esta matriz permite obtener los impactos ambientales: compatibles, moderados, severos y críticos que se prevean en las fases del proyecto a través de los valores de importancia ambiental.

d) Superposición cartográfica

Propuesto por Ian McHarg en el año de 1969, en aquel entonces se usaba la superposición de transparencias o acetatos, en los cuales se graficaba diferentes mapas de impactos individuales sobre los componentes ambientales (físico, biótico, etc.), al sobreponer estos mapas se obtenía un mapa de impactos global. Hoy en día esto se lo hace mediante los sistemas de información geográfica. (R. Aguilera, 2010)

Estrategias Ambientales

Se definen como guías prácticas y viables, que poseen medidas para evitar los impactos ambientales que resultaran de las actividades realizadas en el proyecto. Para definir las estrategias ambientales se toma en cuenta todos los aspectos relevantes de las condiciones ambientales actuales del área de influencia directa e indirecta. Con las estrategias establecidas se podrá evitar, disminuir, modificar, remediar o compensar el impacto de la obra sobre el medio ambiente. (R. Aguilera, 2010).

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un sistema de información geográfica es un conjunto de procedimientos y herramientas que permiten almacenar, analizar y modelar información espacial, con ayuda de hardware y software, y que actualmente es una de las herramientas más avanzadas y útiles para la planificación territorial. (Pinto, 2007)

Un SIG almacena la información en capas temáticas que pueden enlazarse geográficamente. Esta información contiene una referencia geográfica explícita tal como la latitud y la longitud o coordenadas nacionales que permiten localizar elementos en la superficie terrestre para ser analizados. (FAO, 2006)

La debilidad de las evaluaciones de impacto ambiental radica en la insuficiencia de datos fiables sobre la localización y estado de las variables ambientales. Es por ello que resulta la importancia de los SIG, capaces de almacenar, tratar y proporcionar no solo la cartografía métrica (topográfica, temática o básica), sino también la cartografía estadística, conteniendo información alfanumérica, mediante números, letras, colores, histogramas, entre otras. (Pinto, 2007)

Los SIG permiten superponer información en una zona geográfica e identificar los impactos espacialmente, para establecer una relación espacial de los impactos y el lugar donde ocurren los mismos. (Retamal, 2011) Su combinación con análisis de decisión multicriterio, como: proceso de jerarquía analítica (AHP), sumatoria lineal ponderada, promedio ponderado, entre otros, constituyen poderosas técnicas para el análisis y predicción de impactos ambientales. (Salcedo et al., 2017)

Evaluación Multicriterio (EMC)

El análisis multicriterio es un conjunto de técnicas utilizadas en la decisión multidimensional y los modelos de evaluación, dentro del campo de la toma de decisiones. (Barredo & Bosque, 1999)

Es un método que concilia diversos puntos de vista o criterios de tal forma que las partes involucradas (político, económico, ambiental, social, ético, etc.) encuentren un punto de convergencia que facilite la elaboración de un juicio técnico, que tenga posibilidades de ser aceptado y reconocido por los interesados en la decisión de ejecutar o no un proyecto, que tenga incidencia en el medio natural, físico o en el bienestar de sus habitantes. (García, 2004)

Según Barredo, J y García, M (2005) la EMC tiene los siguientes componentes:

- **Los objetivos** son primordiales, puesto que al proponerlos se identifica hacia donde se va a llegar, estableciendo los lineamientos que van a regir los parámetros en la evaluación.
- **Los criterios** que son reflejados por los factores, siendo la información gráfica que se utilizará para analizar y definir las alternativas.
- **La regla de decisión** con la que se analizará e integrará los criterios para su posterior valoración.
- **La evaluación** que integra la normalización, ponderación y jerarquización de los resultados.

Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

Es una metodología propuesta por Saaty en 1980, que se basa en la comprensión y el conocimiento que una persona o un grupo de personas tienen de una determinada situación. (Romero, 2016)

Esta metodología consiste en una comparación por pares de los criterios que parten de una matriz, en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de criterios a ponderar, comparando la importancia de cada uno de ellos con los demás. (Ramírez, 2004) (Ver Figura 3)

Figura 3

Matriz de Comparación de Pares (para W criterios)

$$\begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{pmatrix}$$

Nota: Recuperado de (Moreno, 2001)

El proceso analítico jerárquico deberá ser (Romero, 2016):

- Simple en su construcción
- Adaptable a las decisiones individuales y grupales
- En concordancia con nuestros pensamientos e intuiciones
- Orientada a la búsqueda de un consenso
- Que no requiera una especialización suprema para su aplicación.

Capítulo III

Caracterización del Proyecto

Presa del Río El Salto

El proyecto corresponde al diseño para la construcción de una presa que ejerza la función de retener los lahares procedentes del casquete glaciar del volcán Cotopaxi en caso de una eventual erupción de gran magnitud.

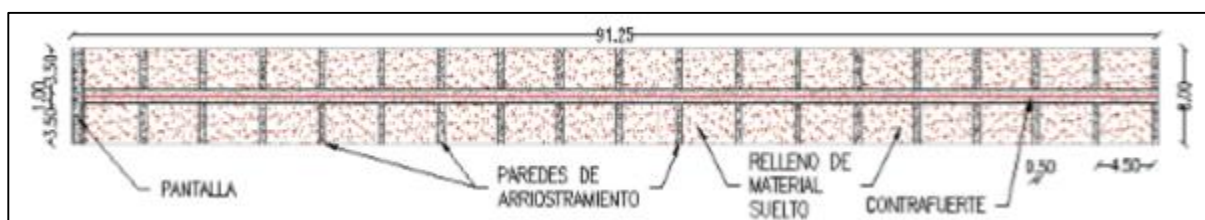
Los parámetros de diseño de la presa se tomaron en base a la tesis de grado de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” realizado por los estudiantes: Marcelo Bonito y María José Naranjo en el 2016, denominado “Diseño de obras de protección ante el flujo de los lahares del volcán Cotopaxi para la Cuenca Norte”.

La presa estará ubicada en la cuenca norte del volcán Cotopaxi, sobre el río El Salto en las coordenadas UTM 17 Sur: 784985 m Este, 9945787 m Norte.

La presa será de tipo mixta (hormigón y materiales sueltos), cumpliendo con las condiciones de estabilidad al deslizamiento y volcamiento. Para los análisis de peso, fuerzas y momentos se tomaron en cuenta como la parte de hormigón a la pantalla, paredes y contrafuerte y la parte de materiales sueltos al relleno de tierra como se observa en la Figura 4.

Figura 4

Franja de Diseño de la Presa del Río El Salto



Nota: Recuperado de (Bonito & Naranjo, 2016)

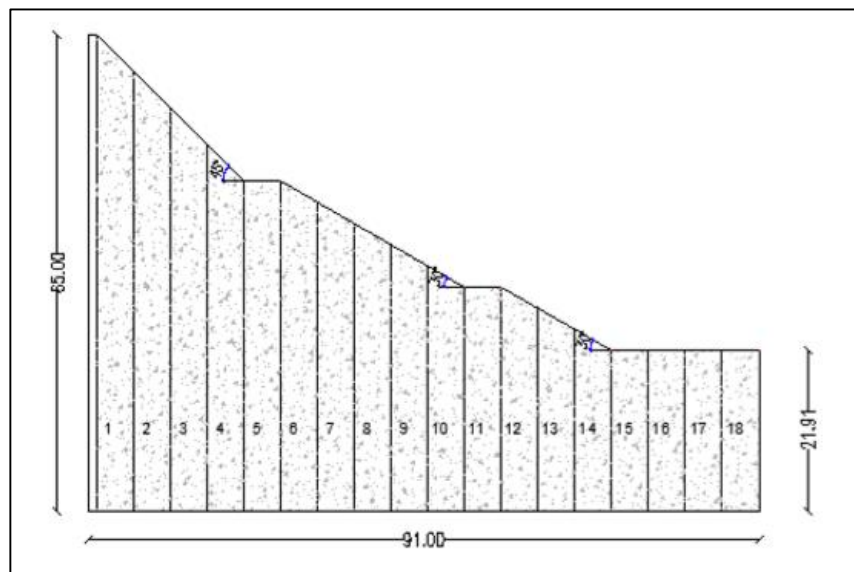
Las características más relevantes del proyecto son:

- Área de aporte del casquete glaciar hacia el Río El Salto: 0.43 km²
- Volumen de embalse: 3.89 Hm³
- Altura de la presa: 65 m
- Cota de embalse: 3310 m
- Ancho y largo de la presa: 130 m y 91 m respectivamente (Ver Figura 5)
- Área de inundación: 28,58 ha (Ver Figura 6)
- Caudal máximo en función de volumen de embalse: 1436.9 m³/s
- Altura de la primera ola de lahares: 6 m
- Tiempo estimado de arribo del lahar hacia el punto de la presa: 15 min
- Yacimientos de material para la construcción: Los áridos para la construcción de la presa y sus obras anexas, se extraerán principalmente de yacimientos ubicados en la futura área de inundación. El diseño de la presa considera un volumen de excavación de aproximadamente 50529.68 m³.

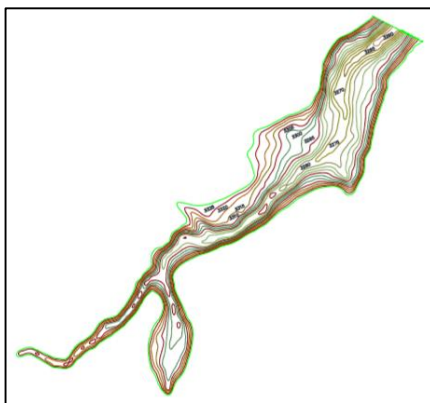
- Botaderos: el proyecto no contempla la habilitación de botaderos, puesto que todo el material que se genera producto de las excavaciones será utilizado como relleno.

Figura 5

Geometría del Contrafuerte para el Río El Salto



Nota: Recuperado de (Bonito & Naranjo, 2016)

Figura 6*Área de Inundación Río El Salto*

Nota: Recuperado (Bonito & Naranjo, 2016)

Según información de Bonito y Naranjo (2016), el proyecto considera el diseño de una alcantarilla, que estará ubicada de forma paralela al flujo del río El Salto y a lo largo de la presa mixta; desde los tres contrafuertes que serán extendidos aguas arriba hasta la presa mixta aguas abajo, dicha obra está diseñada para un evento de 20 años de retorno.

Parámetros de diseño:

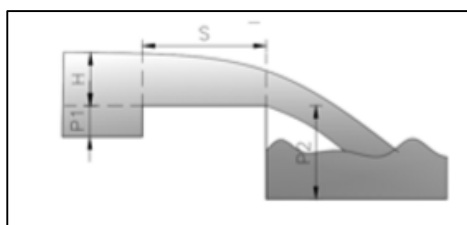
- La distancia entre contrafuertes es de 3.50 m y el espesor de las paredes de la estructura es de 1 m.
- El material escogido para la alcantarilla es hormigón con una rugosidad de 0.014.
- La forma de la alcantarilla es rectangular cerrada (canal cerrado).

Entrada de la alcantarilla:

El canal de entrada para la alcantarilla del río El Salto fue diseñado como un vertedero de cresta ancha con aristas vivas.

Figura 7

Ejemplo del Vertedero de Cresta Ancha



Nota: Recuperado de (Bonito & Naranjo, 2016).

Tabla 1

Cálculo del Tirante de Agua en la Entrada del Canal para el Río El Salto

Parámetro	Valor
Caudal (m ³ /s)	33.51
Coefficiente de caudal (m)	0.385
Ancho de canal (m)	7.00
Altura de agua (m)	1.99

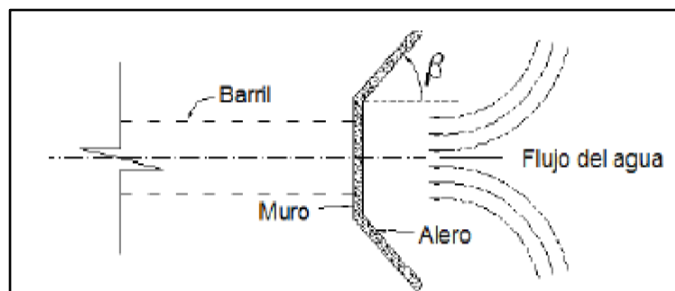
Nota: Recuperado de (Bonito & Naranjo, 2016)

Salida de la alcantarilla:

Para la salida de la alcantarilla con la finalidad de encausar el flujo de agua se colocan muros de ala con espesor igual a sus paredes y con un ángulo de inclinación según Izzard.

Figura 8

Ejemplo de Ángulo de Alabeo de la Alcantarilla



Nota: Recuperado de (Bonito & Naranjo, 2016)

Presupuesto presa mixta:

Tabla 2

Presupuesto para la Construcción de la Presa El Salto

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio U.	Precio T.
Excavación >6m	m3	50529,68	8,02	\$ 405.248,03
Material de relleno, transporte y vertido	m3	88247,77	2,54	\$ 224.149,33
Compactación material	m3	268334,22	8,00	\$ 2.146.673,76
Hormigón de 210 Kg/cm ²	m3	1020,49	125,82	\$ 128.398,30
Hormigón de 240 Kg/cm ²	m3	45728,86	126,67	\$ 5.792.474,70
Hormigón de 350 Kg/cm ²	m3	200,35	162,00	\$ 32.457,35
Acero de refuerzo Ø22mm fy=4200 Kg/cm ²	Kg	1728339,84	1,34	\$ 2.315.975,39
Acero de refuerzo Ø22mm fy=4200 Kg/cm ²	Kg	1114086,03	1,34	\$ 1.492.875,28
				<u>\$ 12.538.252,13</u>

Nota: Recuperado de (Bonito & Naranjo, 2016)

Presa del Río Pita

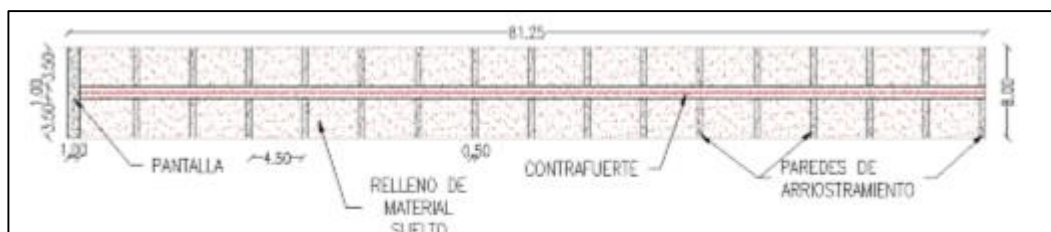
Para el diseño de la presa que estará ubicada en la cuenca norte del volcán Cotopaxi, sobre el río Pita, se tomó como referencia la tesis realizada por: Marcelo Bonito y María José Naranjo: “Diseño de obras de protección ante el flujo de los lahares del volcán Cotopaxi para la Cuenca Norte”

La obra estará ubicada en la cuenca norte del volcán Cotopaxi, sobre el río Pita en las coordenadas UTM 17 Sur: 786143 m Este, 9940064 m Norte.

La presa que se ubicará en el cauce del río Pita será similar al del río El Salto, siendo de tipo mixta (hormigón y materiales sueltos). La pantalla, paredes y contrafuerte serán de hormigón, mientras que el relleno de tierra corresponderá a materiales sueltos como se observa en la Figura 9.

Figura 9

Franja de Diseño de la Presa del Río Pita



Nota: Recuperado de (Bonito & Naranjo, 2016)

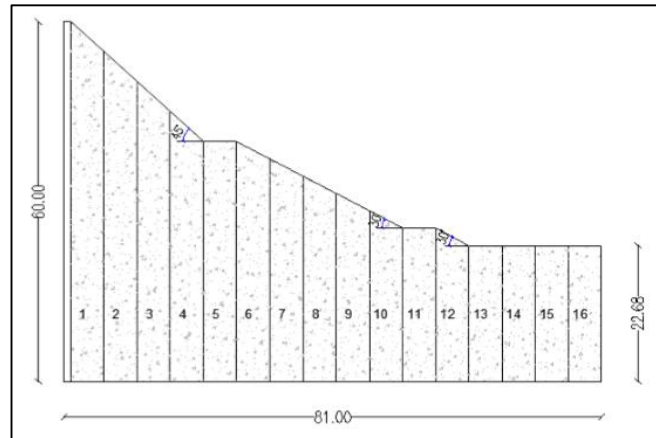
Las características más relevantes del proyecto son:

- Área de aporte del casquete glaciar hacia el Río El Salto: 3.80 km²
- Volumen de embalse: 35.62 Hm³

- Altura de la presa: 60 m
- Cota de embalse: 3600 m
- Ancho y largo de la presa: 81 m y 805 m respectivamente (Ver Figura 10)
- Área de inundación: 225,08 ha (Ver Figura 11)
- Caudal máximo en función de volumen de embalse: 12790.64 m³/s
- Altura de la primera ola de lahares: 7.26 m
- Tiempo estimado de arribo del lahar hacia el punto de la presa: 15 min
- Yacimientos de material para la construcción: Los áridos para la construcción de la presa y sus obras anexas, se extraerán principalmente de yacimientos ubicados en la futura área de inundación. El diseño de la presa considera un volumen de excavación de aproximadamente 96117.86 m³.
- Botaderos: el proyecto no contempla la habilitación de botaderos, puesto que todo el material que se genera producto de las excavaciones serán utilizados como relleno.

Figura 10

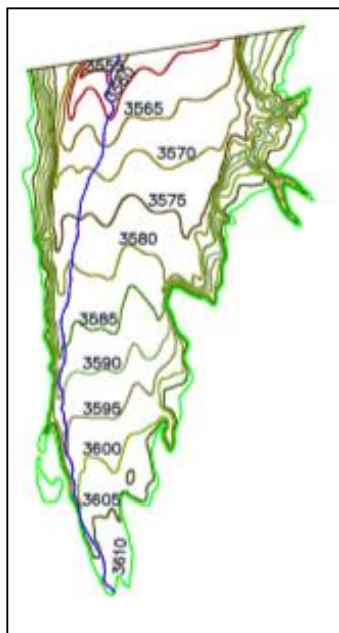
Geometría del Contrafuerte para el Río Pita



Nota: Recuperado de (Bonito & Naranjo, 2016)

Figura 11

Área de Inundación del Río Pita



Nota: Recuperado de (Bonito & Naranjo, 2016)

Dentro del diseño de la presa se consideró la construcción de una alcantarilla que estará ubicada de forma paralela al flujo del río Pita y a lo largo de la presa mixta; dicha obra está diseñada para un evento de 20 años de retorno.

Parámetros de diseño:

- La distancia entre contrafuertes es de 3.50 m y el espesor de las paredes de la estructura es de 1 m.
- El material escogido para la alcantarilla es hormigón con una rugosidad de 0.014.
- La forma de la alcantarilla es rectangular cerrada (canal cerrado).

Entrada de la alcantarilla:

El canal de entrada para la alcantarilla del río Pita fue diseñado como un vertedero de cresta ancha con aristas vivas similar al del río El Salto. (Ver Figura 7)

Tabla 3

Cálculo del Tirante de Agua en la Entrada del Canal para el Río Pita

Parámetro	Valor
Caudal (m ³ /s)	67.67
Coefficiente de caudal (m)	0.3850
Ancho de canal (m)	7.00
Altura de agua (m)	3.18

Nota: Recuperado de (Bonito & Naranjo, 2016)

Salida de la alcantarilla:

Para la salida de la alcantarilla con la finalidad de encausar el flujo de agua se colocan muros de ala con espesor igual a sus paredes y con un ángulo de inclinación según Izzard similar al del río El Salto. (Ver Figura 8)

Presupuesto presa mixta**Tabla 4***Presupuesto para la Construcción de la Presa Pita*

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio U.	Precio T.
Excavación >6m	m3	96117,86	8,02	\$ 770.865,22
Material de relleno, transporte y vertido	m3	168925,39	2,54	\$ 429.070,50
Compactación material	m3	2658686,80	8,00	\$ 21.269.494,40
Hormigón de 210 Kg/cm ²	m3	1081,74	125,82	\$ 136.104,78
Hormigón de 240 Kg/cm ²	m3	78520,75	126,67	\$ 9.946.223,40
Hormigón de 350 Kg/cm ²	m3	215,88	162,00	\$ 34.972,56
Acero de refuerzo Ø22mm fy=4200 Kg/cm ²	Kg	2788288,81	1,34	\$ 3.736.307,01
Acero de refuerzo Ø22mm fy=4200 Kg/cm ²	Kg	2024495,43	1,34	\$ 2.712.823,88
				<u>\$ 39.035.861,75</u>

Nota: Recuperado de (Bonito & Naranjo, 2016)

Presa Río Aláquez

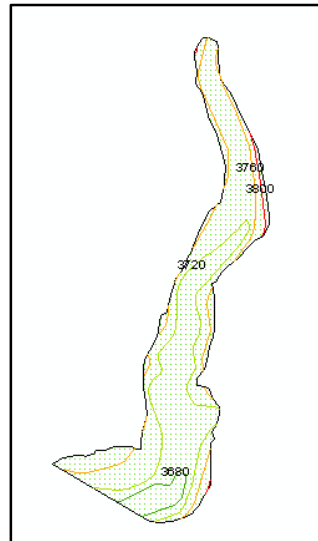
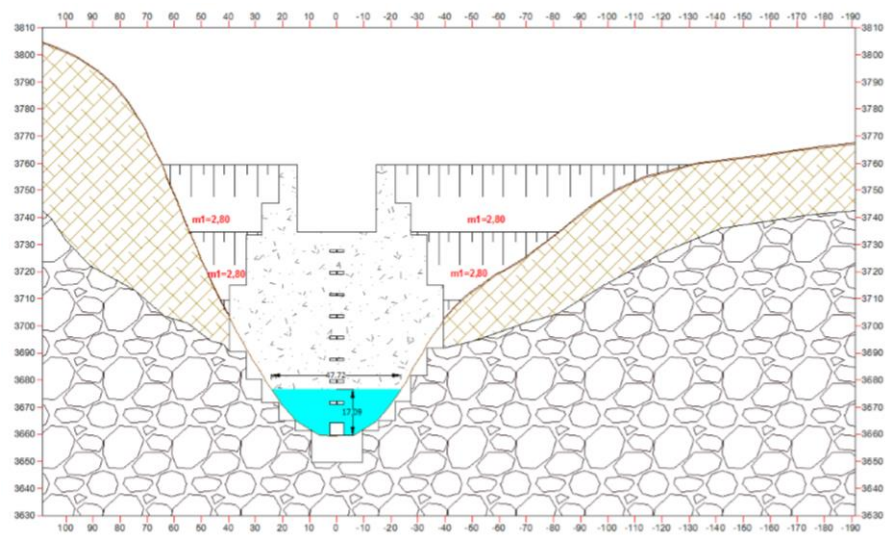
Los datos del diseño de la presa se tomaron en base a la tesis: "Diseño de obras de protección para la quebrada del río Aláquez ante el flujo de lahares del volcán Cotopaxi" realizada en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por el estudiante Leonardo Alejandro Vivar Loaiza en el 2019.

La construcción de la presa estará ubicada en el flanco sur del volcán Cotopaxi, en la quebrada del río Aláquez, en las coordenadas UTM 17 Sur: 786527 m Este, 9914660 m Norte.

Se diseñó una presa mixta, la cual emplea dos diferentes materiales (hormigón y material suelto) en su diseño, haciendo énfasis en el aprovechamiento más adecuado de sus componentes.

Las características más relevantes del proyecto son:

- Área de aporte del casquete glaciar hacia el río Aláquez: 3.34 km²
- Volumen de embalse: 14.17 Hm³
- Altura de la presa: 100 m
- Cota de embalse: 3760 m
- Ancho y largo de la presa: 194 m y 43 m respectivamente. (Figura 13)
- Área de inundación: 49,37 ha (Figura 12)
- Tiempo estimado de arribo del lahar hacia el punto de la presa: 10 min
- Yacimientos de material para la construcción: Los áridos para la construcción de la presa y sus obras anexas, se extraerán principalmente de yacimientos ubicados en la futura área de inundación. El diseño de la presa considera un volumen de excavación de aproximadamente 34330.06 m³.
- Botaderos: el proyecto no contempla la habilitación de botaderos, puesto que todo el material que se genera producto de las excavaciones será utilizado como relleno.

Figura 12*Área de Inundación Quebrada del Río Aláquez***Figura 13***Sección Transversal de la Presa Aláquez*

Nota: Recuperado de (Vivar, 2019)

Según información de Vivar (2019), el proyecto también considera el diseño de la alcantarilla que permita el flujo del cauce del río.

Debido a que perpendicular al eje de la presa pasa un caudal constante proveniente del Río Aláquez, es imperativo diseñar una alcantarilla que permita que el mismo siga fluyendo de acuerdo con la dirección y el nivel de la solera del río, conforme a la topografía de la zona.

La alcantarilla para la quebrada del río Aláquez se diseñará de acuerdo al control aguas arriba, cuyo caudal para un periodo de retorno de 25 años es de 19.02 m³/s. Se construirá en hormigón armado de $f'c=210$ kg/cm² con las caras internas pulidas y con la forma de un cajón rectangular, cuya velocidad máxima de diseño y coeficiente de rugosidad medio se encuentran definidos conforme al Código Ecuatoriano para el Diseño de la Construcción de Obras Sanitarias Norma Co 10.07-601, sección 5: Captación y Conducción para Proyectos de Abastecimiento de Agua Potable.

En caso de existir una erupción volcánica del Cotopaxi y su flujo de lodos llegue a tapan el ingreso de la alcantarilla, se prevé un desfogue secundario por medio de una serie de orificios que conducen el flujo hacia unas bandejas en el interior de la presa. Para su diseño, se ha considerado una probabilidad de excedencia de 1 en 1,11 años lo cual da como resultado un caudal de 1,09 m³/s.

Presupuesto presa mixta:

Se presenta un presupuesto aproximado para la construcción de la presa mixta y sus obras complementarias de desagüe ante el flujo de los lahares del volcán Cotopaxi para la quebrada del Río Aláquez, en dónde, se ha considerado como rubros principales los que se citan a continuación:

- Excavación mayor a 6 metros a máquina, hasta la cota de cimentación.
- Material de relleno con suelo natural compactación, transporte y vertido.
- Hormigón premezclado de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, para alcantarilla, losa de zampeado y delantal; $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$, para sistema de escaleras de disipación y $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$, para pantalla, paredes y contrafuertes de la presa mixta.
- Acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 10 \text{ mm}$.
- Acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 22 \text{ mm}$.
- Acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ $\phi = 28 \text{ mm}$.
- Acero estructural A36, perfiles para rejillas de ingreso hacia alcantarilla y orificios vertedores.

Los costos por unidad de cada uno de los rubros fueron obtenidos de la Cámara de la Industria de la Construcción 2019 (CAMICON) citados en Vivar (2019). Ver tabla 5.

Tabla 5*Presupuesto para la Construcción de la Presa Aláquez*

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Excavación >6m a máquina (excavadora)	m ³	34330,06	8,18	\$ 280.819,89
Material de relleno con suelo natural compactación, transporte y vertido.	m ³	355126,33	6,54	\$ 2.322.526,22
Hormigón premezclado f _c =210kg/cm ²	m ³	1024,748	114,4	\$ 117.231,17
Hormigón premezclado f _c =240kg/cm ²	m ³	475,4	121,4	\$ 57.713,56
Hormigón premezclado f _c =350kg/cm ²	m ³	193509,25	156,9	\$ 30.361.600,68
Acero de refuerzo f _y =4200kg/cm ² 10mm	kg	191211,36	1,54	\$ 294.465,50
Acero de refuerzo f _y =4200kg/cm ² 22mm	kg	73203,08	1,62	\$ 118.588,98
Acero de refuerzo f _y =4200kg/cm ² 28mm	kg	3706924,7	1,62	\$ 6.005.217,98
Acero estructural A36	kg	3041,47	4,02	\$ 12.226,71
Total				\$ 39.570.390,69

Nota: Recuperado de (Vivar, 2019)

Capítulo IV

Caracterización Ambiental del Área de Influencia

Área de Influencia

La construcción de las presas se realizará en los flancos norte y sur del volcán Cotopaxi. En el lado sur, sobre la quebrada del río Aláquez y en el lado norte sobre los ríos Pita y El Salto.

Las zonas de influencia directa estarán delimitadas por el área de inundación aguas arriba de las presas una vez que desciendan los lahares y se vean retenidos por las obras civiles de mitigación.

Para la zona de influencia indirecta se consideró las pendientes o direcciones de los escurrimientos a través del Modelo Digital de Elevaciones (DEM). Se delimitó el espacio de recarga de agua lluvia superficial que dirige todas las precipitaciones a un mismo punto de salida.

Otro punto a tomar en cuenta para la delimitación del área de influencia indirecta fue la cercanía a las vías de acceso que intervendrán en la construcción y operación de las presas.

En el flanco norte del volcán Cotopaxi donde se pretende construir dos presas, se consideró una sola zona de influencia indirecta que abarque el área de inundación de ambas presas, ya que, al estar relativamente cercanas, comparten características físicas, bióticas y sociales. Se delimitó esta zona siguiendo el valle que se forma por las bases de los volcanes Pasochoa, Rumiñahui y Sincholagua.

La superficie total del área de influencia indirecta Norte es de 7138,53 ha y políticamente, se ubica en las parroquias Machachi, Rumipamba y Pintag, pertenecientes a los cantones Mejía, Rumiñahui y Quito respectivamente.

Por su parte para el área de influencia indirecta sur, se delimitó de acuerdo a la microcuenca del río Barrancas, la cual se ubica en la parroquia Mulaló del Cantón Latacunga y cuya superficie total es 10307,21 ha.

Ambas zonas se pueden evidenciar en las Figuras 14 y 15.

A continuación, se detallan las características físicas, bióticas y sociales de las áreas de influencia directa e indirecta de la zona norte y sur del volcán Cotopaxi.

Figura 14

Mapa de Ubicación Zona Norte

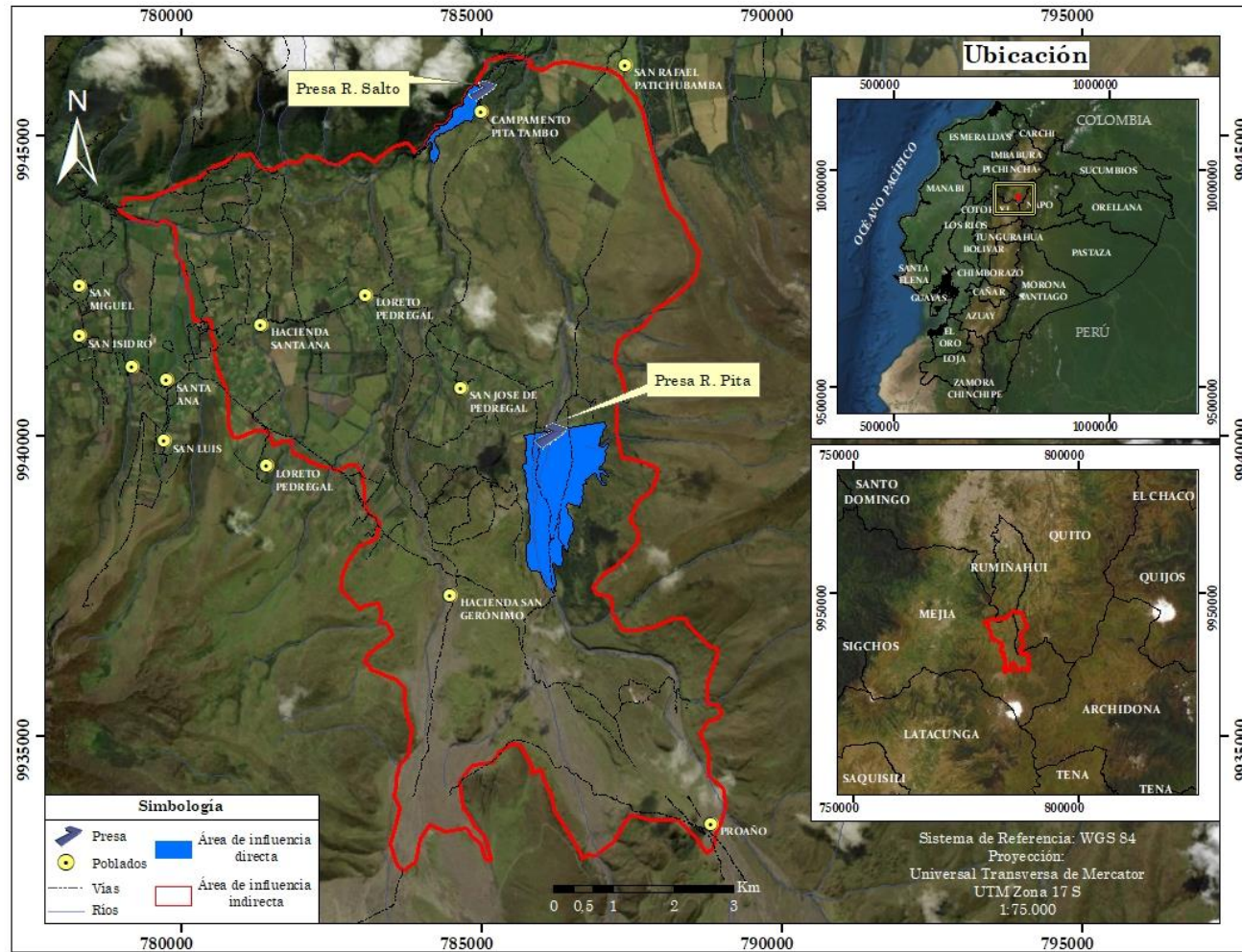
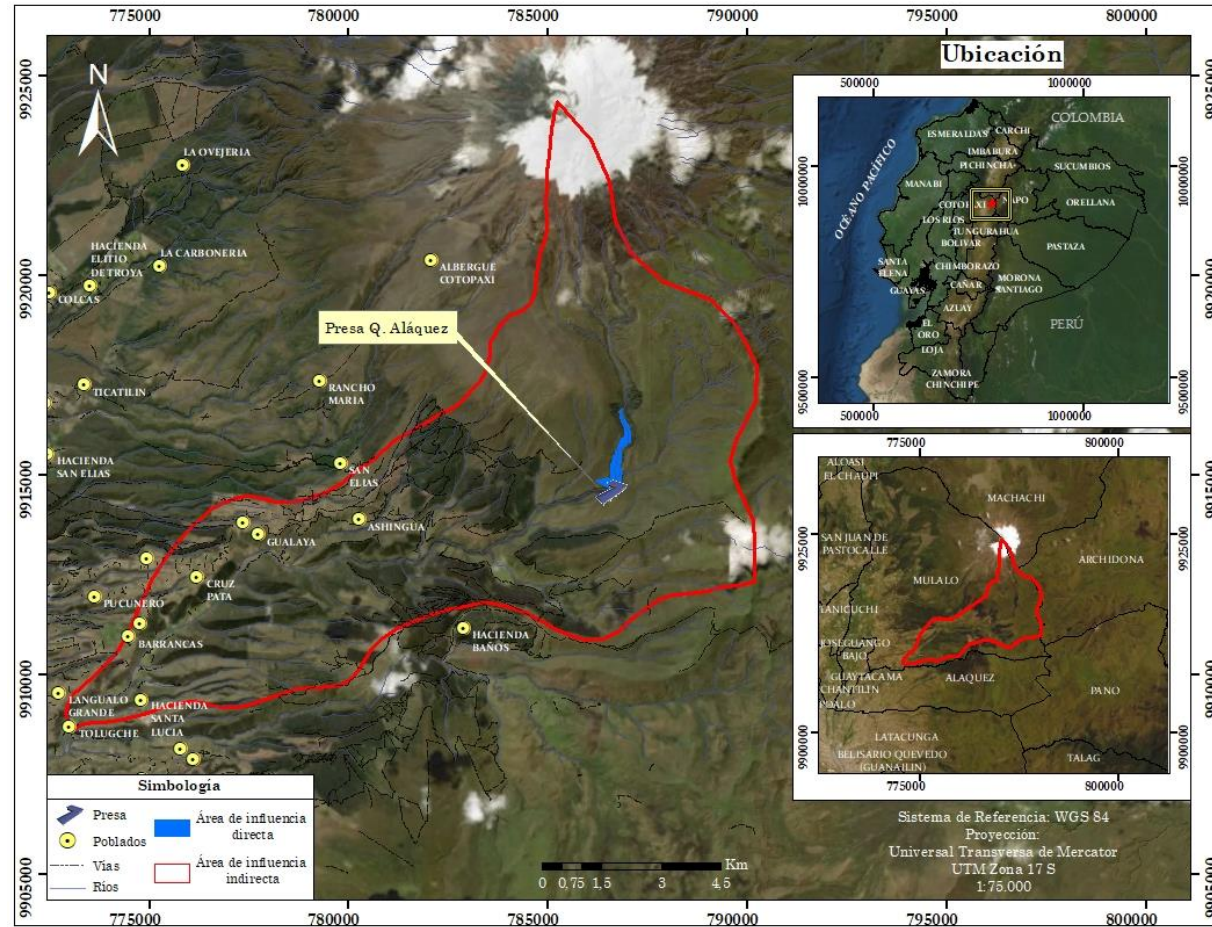


Figura 15

Mapa de Ubicación Zona Sur



Componente Físico

La descripción del componente físico comprende la caracterización y análisis de los asociados a la atmósfera, hidrósfera y litósfera. Estos son: clima, hidrografía, topografía, geología, geomorfología y suelo.

Clima

Dentro de las zonas de influencia indirecta norte y sur, no se cuenta con estaciones meteorológicas, por tal motivo se optó por incluir un grupo de estaciones exteriores a las zonas de estudio que permitirán analizar localmente el clima (ver Tabla 6). Toda la información relacionada con el clima se extrajo del anuario meteorológico N°53-2013 perteneciente al 2017, ya que en ese año se realizó la última actualización.

Tabla 6

Estaciones de medición

Lista de Estaciones Meteorológicas - Pluviométricas						
Nombre De la Estación	Código	Ubicación		Elevación metros	Período de Vida Desde	Operación
		Longitud	Coordenadas Latitud			
ZONA NORTE						
Rumipamba-Pichincha	M-353	78°24'57" W	00°25'39" S	2940	jul-64	Inamhi
Loreto Pedregal	M-364	78°25'35" W	00°33'41" S	3620	jun-63	Inamhi
ZONA SUR						
Cotopaxi-Clirsen-IEE	M-120	78°34'53" W	00°37'24" S	3510	abr-99	Inamhi
Pastocalle	M-371	78°37'39" W	00°43'19" S	3074	abr-63	Inamhi
Saquisilí	M-375	78°39'48" W	00°50'05" S	2892	ene-68	Inamhi

Nota: Recuperado de (Inamhi, 2017)

De las estaciones mencionadas, solamente una presenta información acerca de la temperatura (ver Tabla 7), las demás no poseen esta información ya sea por inexistencia del instrumental o insuficiencia de datos para cálculos estadísticos.

Tabla 7

Temperatura y Humedad

Datos de Temperatura y Humedad					
Nombre de Estación	Período de Registro	Temperatura Ambiente			Humedad Relativa
		Mínima (° C)	Media (° C)	Máxima (° C)	Media (%)
Cotopaxi-Clirsen-IEE	1999-2012	2.5	8.55	14.6	97

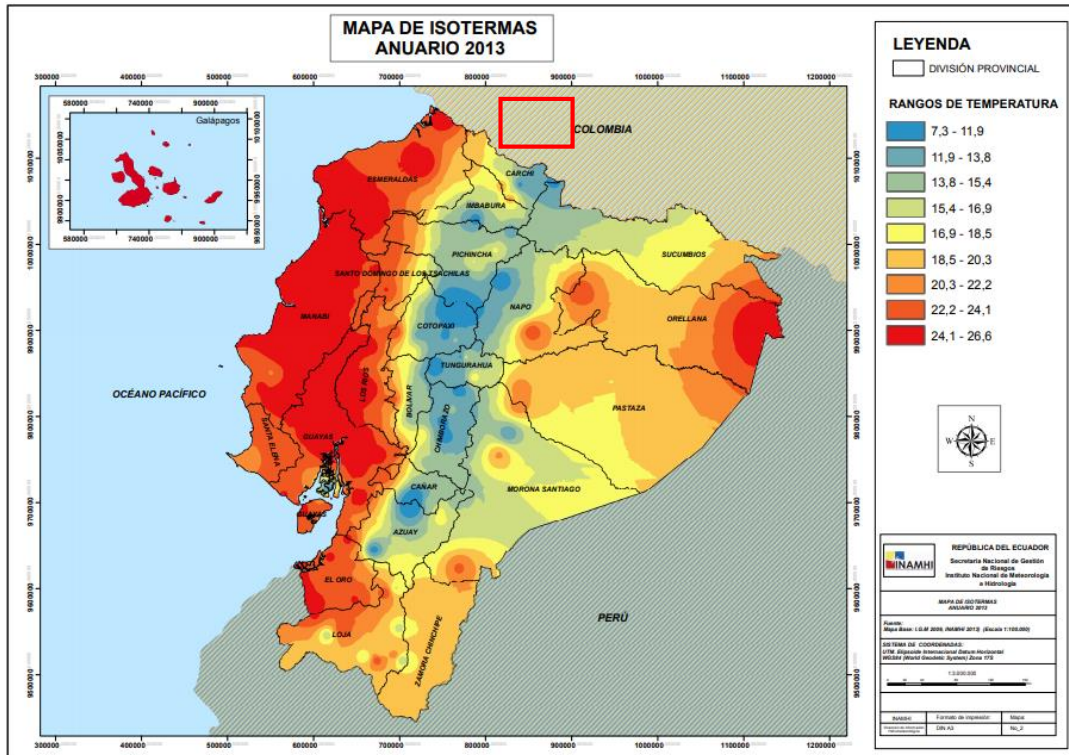
Nota: Recuperado de (Inamhi, 2017)

Los datos de temperatura y humedad provienen generalmente de las observaciones diarias tomadas a las 07,12 y 18 horas. En el período indicado son escasos los registros continuos. Las temperaturas min-máx. absolutas representan los valores mínimos y máximos registrados en algún momento de todo el período.

En la Figura 16 se puede observar el mapa de isotermas a nivel nacional elaborado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, enmarcado con rojo el área donde se instalarán las presas.

Figura 16

Mapa de Isotermas



Nota: Recuperado de (Inamhi, 2017)

En la Tabla 8 se presenta el valor correspondiente a las lluvias medias de las estaciones meteorológicas, incluida la extrapolación de datos para los sitios de obra de cada presa.

Tabla 8*Lluvias Anuales en las Estaciones y Sitios de Obra*

Código	Estación	Elevación (m)	Lluvia Anual (mm/año)
M-353	Rumipamba-Pichincha	2940	1579.4
M-364	Loreto Pedregal	3620	1427.6
M-120	Cotopaxi-Clirsen-IEE	3510	1142.4
M-371	Pastocalle	3074	515.3
M-375	Saquisilí	2892	39.9
-	Presa río Pita	3610	1468.0
-	Presa río El Salto	3325	1542.8
-	Presa Aláquez	3677	796.1

Nota: Recuperado de (Inamhi, 2017)

Hidrografía

En la zona norte existen dos ríos principales, el río Pita drenando la parte nor-oriental y el río Salto que drena la norte del cono del volcán Cotopaxi. Ambos ríos se juntan a unos 14 km del volcán y transitan entre los volcanes Sincholagua, Rumiñahui y Pasochoa. (Eduardo Aguilera & Toulkeridis, 2005)

El río Pita nace en los páramos septentrionales del volcán Cotopaxi, de la unión de dos quebradas: Hualpaloma y Carcelén, tiene un curso de sureste a noroeste, hasta desembocar en el río San Pedro, aproximadamente 50 km después, a lo largo de su trayecto se puede observar, chorreras, encañonados, vertientes, rápidos, entre otros. (Pila, 2011)

El río Salto nace de la quebrada Chiriyacu perteneciente al flanco norte del volcán Cotopaxi, que luego se junta con el río Pita.

Todas las quebradas y ríos de la zona norte son parte de varias microcuencas como se observa en la Tabla 9 y Figura 17, estos pertenecen a la subcuenca del río Guayllabamba y a su vez a la cuenca del río Esmeraldas. (Senagua, 2009)

El río Aláquez está conformado por los ríos Barrancas y Tolugchi, que aguas abajo desembocan en el río Cutuchi y finalmente, se dirigen hacia la cuenca Amazónica. Toda la zona sur pertenece únicamente a la cuenca del río Barrancas. (Senagua, 2009) (Ver Tabla 10 y Figura 18)

Tabla 9

Microcuencas de la Zona Norte

Zona Norte		
Microcuencas	Área (ha)	%
R. Pita	433,64	6,07
Q. Merced	24,82	0,34
Q. Victor Puñana	643,89	9,02
R. Salto	3371,29	47,22
Q. Suruhaicu	200,01	2,8
R. Pedregal	866,9	12,14
Drenajes Menores	1597,93	22,38
Total	7138,53	100%

Tabla 10

Microcuenca de la Zona Sur

Zona Sur		
Microcuenca	Área (ha)	%
R. Barrancas	10307,21	100%

Nota: Tabla 9 y Tabla 10 Recuperado de (Senagua, 2009)

Figura 17

Hidrografía zona norte

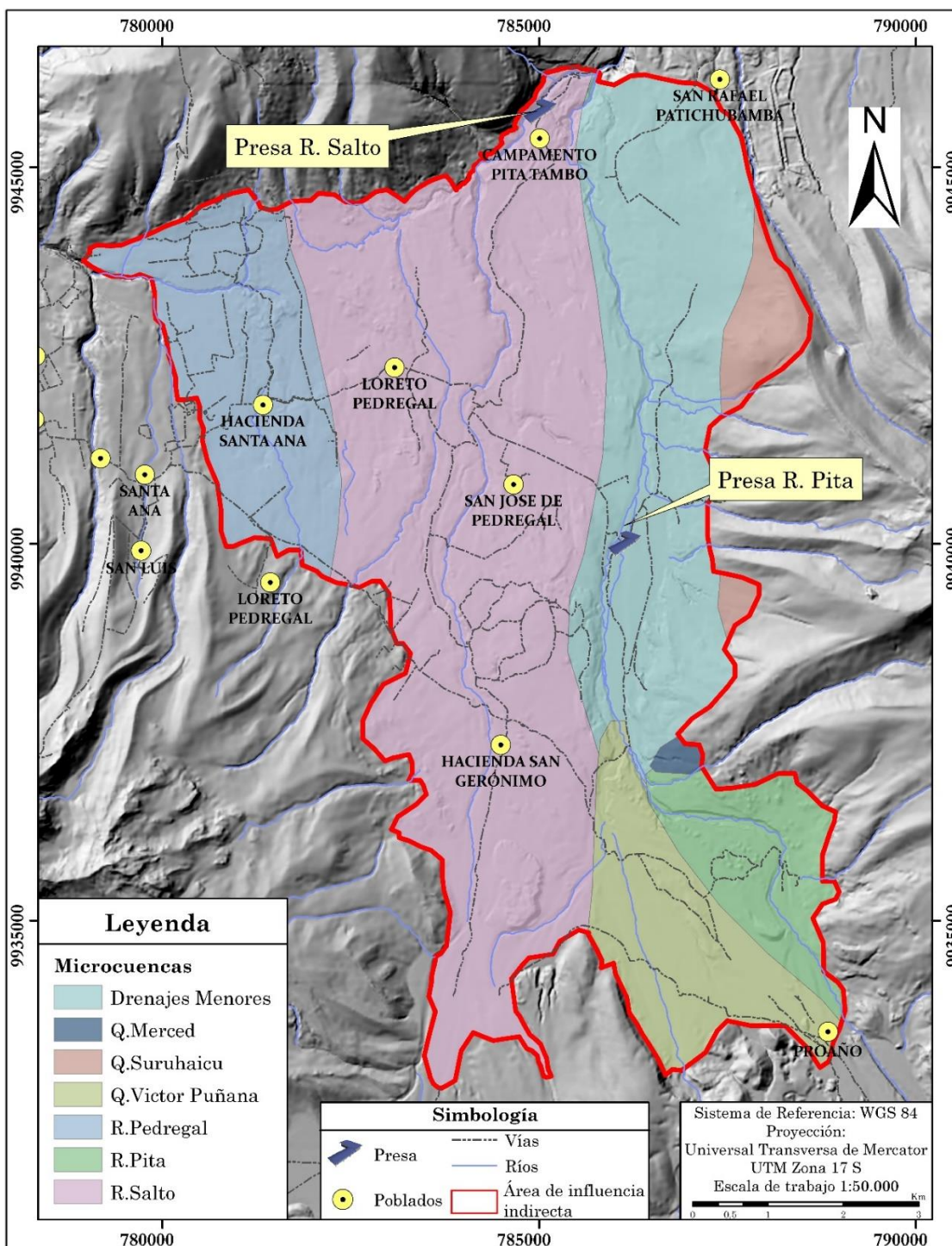
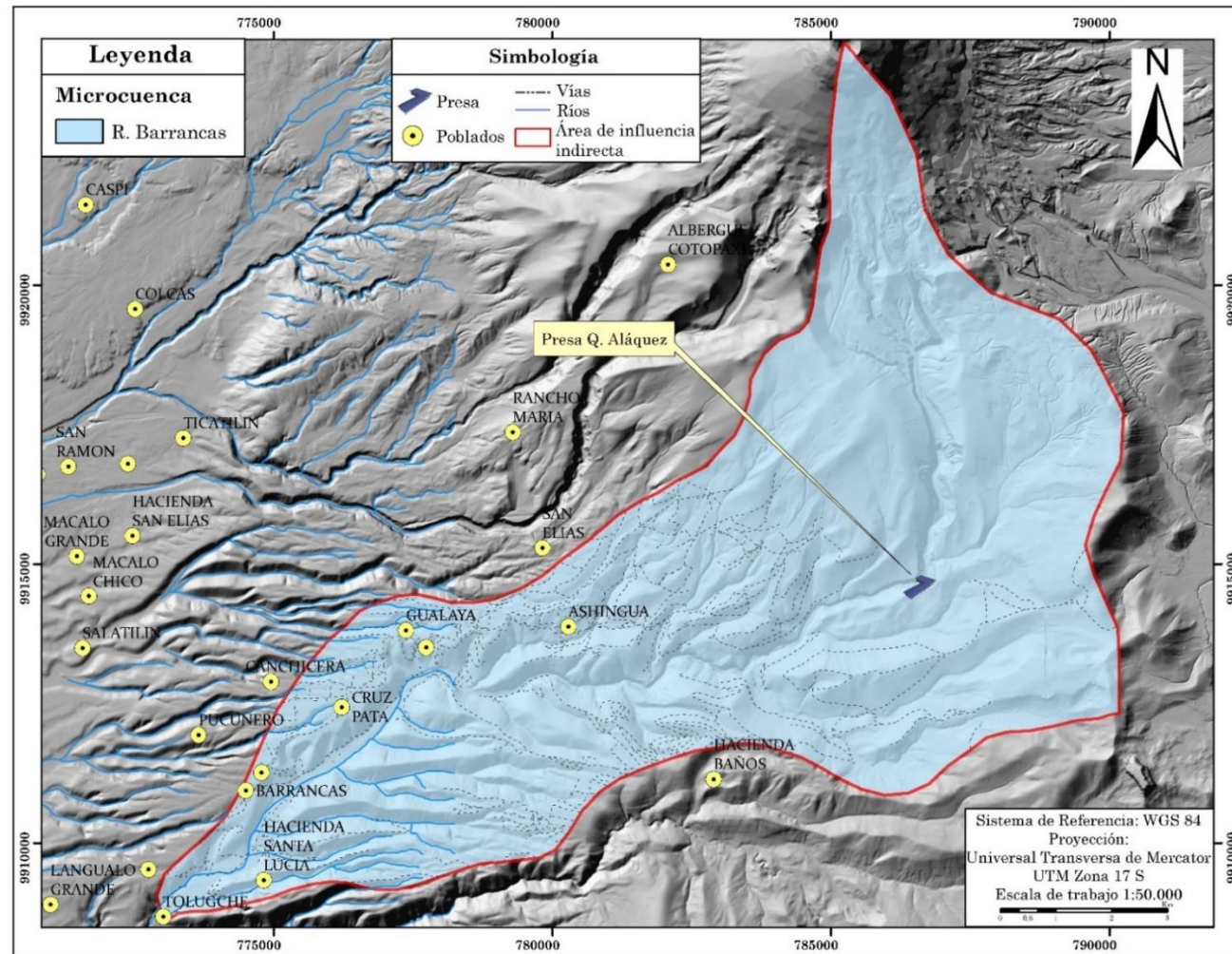


Figura 18

Hidrografía zona sur



Topografía

Las áreas de influencia indirecta norte y sur, están compuestas por relieves montañosos, volcánicos y distintos tipos de vertientes. Las cotas aproximadas van desde los 3.240 m.s.n.m hasta 3.960 m.s.n.m para la zona norte y desde los 3040 m.s.n.m hasta 5800 m.s.n.m para la zona sur.

Para la zona norte las pendientes que predominan pertenecen al tipo “muy suave” con un 59.43%, seguida del tipo “media a fuerte” con un 18.08 % y el tipo “suave” con un 13.07 %.

Para la zona sur las pendientes predominantes corresponden al tipo “fuerte” con un 38,61%, seguida del tipo “media” con un 33,85 %.

En la Tabla 11 se describe los porcentajes restantes junto con su área correspondiente para cada una de las zonas de estudio. Así mismo en las Figuras 19 y 20, se visualiza las pendientes de la zona norte y sur.

Tabla 11

Tipos de Pendientes en la Zona Norte y Sur

Tipo	Pendiente			
	Zona Norte		Zona Sur	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Muy escarpada (>150-200%)	-	-	6,12	0,05
Escarpada (>100-150%)	1,07	0,01	149,62	1,45
Muy fuerte (>70-100%)	27	0,37	602,93	5,84
Fuerte (>40-70%)	215,23	3,01	3979,66	38,61
Media a fuerte (>25-40%)	1291,24	18,08	1289,17	12,5
Media (>12-25%)	420,67	5,89	3489,35	33,85
Suave (>5-12%)	933,17	13,07	362,87	3,52

Pendiente				
Tipo	Zona Norte		Zona Sur	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Muy suave (>2-5%)	4242,94	59,43	427,45	4,14
Plana (>0-2%)	7,15	0,1	-	-
TOTAL	7138,53	100%	10307,21	100%

Nota: Recuperado de (SIGTIERRAS, 2015)

Figura 19

Pendientes Zona Norte

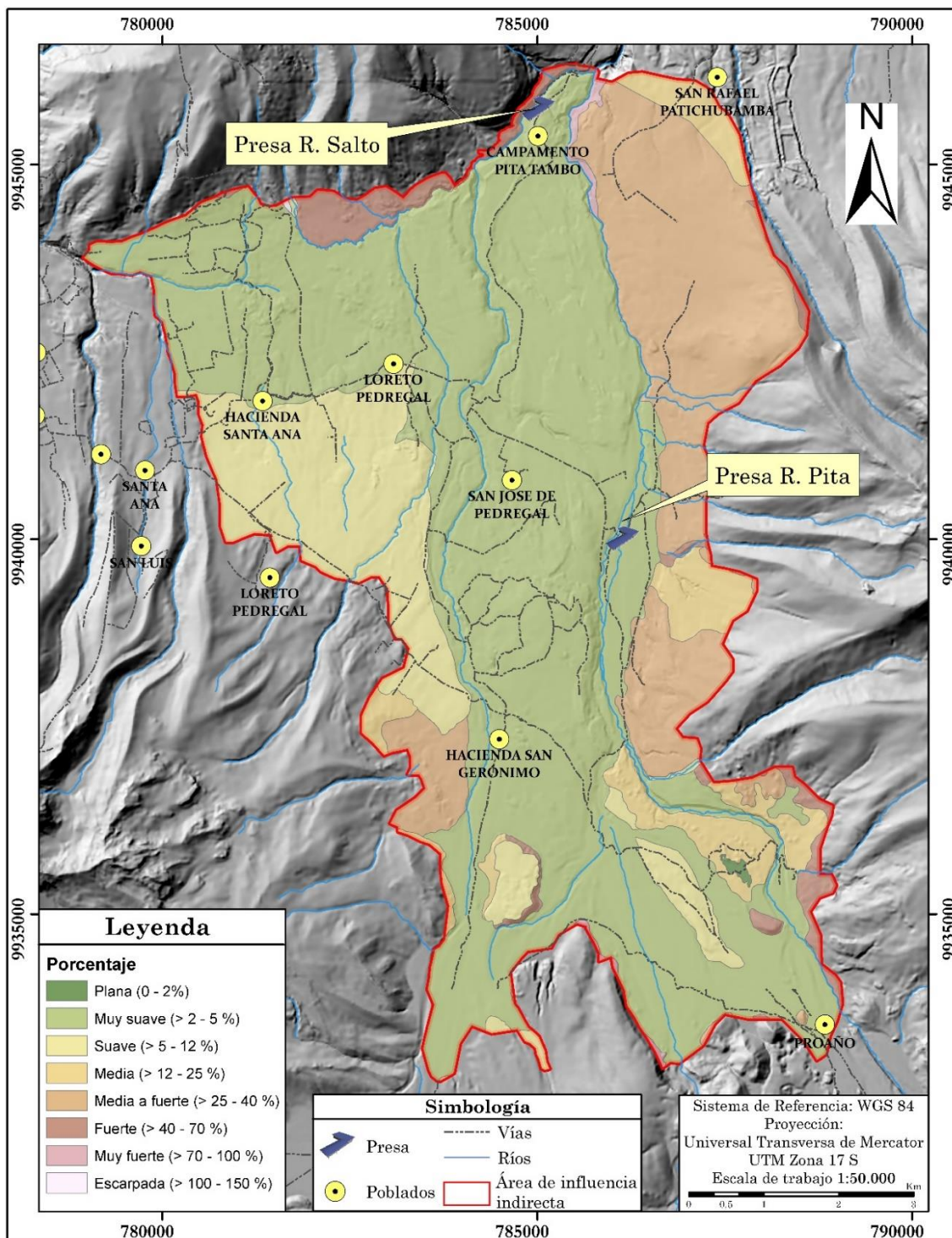
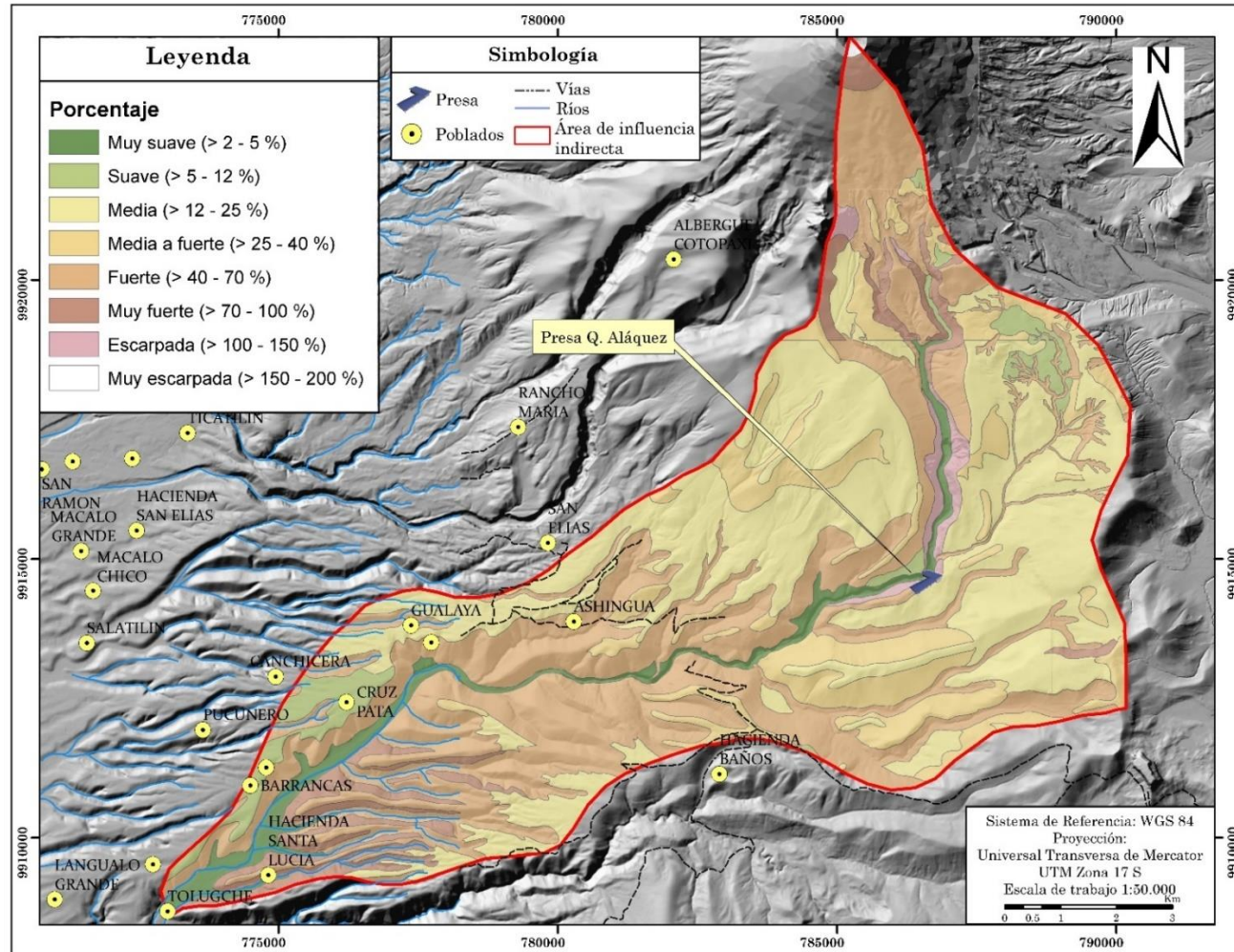


Figura 20

Pendientes zona sur



Geología

La región ecuatoriana está dentro de un margen activo, producto de la convergencia de la placa oceánica de Nazca bajo la placa Sudamericana, a una tasa de 5-7 cm/año. (Pardo-Casas & Molnar, 1987)

Esta interacción hizo surgir distintas zonas morfológicas en el territorio continental ecuatoriano: Llanura Costera, Llanura Amazónica, Valle Interandino, Zona Subandina, Bloque Amotape Tahuín, Cuenca Alamor-Lancones, Cordillera Real y Cordillera Occidental.

Las zonas de estudio se encuentran ubicadas sobre la Cordillera Oriental donde se presentan mayormente rocas metamórficas.

Según los datos obtenidos de SIGTIERRAS del año 2015, en las zonas de estudio existen las siguientes unidades geológicas descritas en la Tabla 12. Así mismo en las Figuras 21 y 22, se visualiza la distribución espacial de cada zona.

Tabla 12

Formaciones Geológicas

Formación	Geología			
	Zona Norte		Zona Sur	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Depósitos coluviales	-	-	6,85	0,06
Depósitos de ladera	-	-	133,95	1,29
Depósitos fluvio-glaciares	4,49	0,06	39,28	0,38
Depósitos fluvio-lacustres	19,81	0,27	0,16	0,01
Depósitos lahárticos	3230,16	45,24	71,84	0,69
Depósitos volcánicos	-	-	451,88	4,38
Depósitos glaciares	90,11	1,26	-	-

Geología				
Formación	Zona Norte		Zona Sur	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Depósitos aluviales	12,34	0,17	-	-
Formación Cangahua	1299,07	18,19	5355,65	51,96
Formación Pisayambo	-	-	1508,13	14,63
Depósitos Superficiales	-	-	62,92	0,61
Volcánicos Cotopaxi	221,88	3,1	2676,5	25,96
Volcánicos Sincholagua	1496,34	20,96	-	-
Volcánicos Rumiñahui	624,63	8,75	-	-
Volcánicos Pasochoa	122,99	1,72	-	-
No aplica	16,66	0,23	0,01	0,01
TOTAL	7138,53	100%	10307,21	100%

Nota: Recuperado de (SIGTIERRAS, 2015)

- **Depósitos coluviales:** Son depósitos compuestos principalmente de gravas, arenas y en menor proporción por limos; producto de los materiales que han sido removidos por efecto de la gravedad y luego han sido depositados al pie de los relieves. (SIGTIERRAS, 2015)
- **Depósitos de ladera:** Acumulación de material transportado y depositado en una ladera, por la acción predominante de la gravedad como producto final de movimiento de masa. Normalmente estos depósitos están formados por una matriz de limo que encierra gravas, cantos y bloques de roca en su interior. (SIGTIERRAS, 2015)
- **Depósitos Fluvio Glaciares:** Estos depósitos constan fundamentalmente de barros, arenas y bloques de variado tamaño y forma distribuidos

caóticamente. Los fluvio glaciares cubren áreas extensas y presentan morfologías semiplanas. (SIGTIERRAS, 2015)

- **Depósitos Fluvio Lacustres:** Conformando por sedimentos de grano fino, estos depósitos están asociados a relieves ondulados y llanuras de depósitos fluvio lacustres, constituidos por intercalaciones de limos, arenas y arcillas. (SIGTIERRAS, 2015)
- **Depósitos Lahárticos:** Estos depósitos fueron generados por el colapso del flanco NNE del volcán Cotopaxi y consiguiente avalancha de escombros hace ~4500 años A.P. Los depósitos son matriz soportado, sin gradación ni estructuras internas y muy pobremente sorteados, al presentar 85% de matriz tipo arena limosa de color beige y 15% de clastos heterolitológicos, y generalmente subyacidos por Cangahua. Estos depósitos presentan 62% de arenas, 25% de gravas y 13% de partículas finas entre limos y arcillas razón por la cual la textura predominante es areno-lodo-gravosa. (Aguas, 2017)
- **Depósitos volcánicos:** Son formas producidas por erupciones volcánicas que han sufrido los efectos de la denudación y que aún conservan rasgos definidos de sus formas iniciales. Las rocas ígneas extrusivas, lavas y piroclástos, constituyen los materiales parentales que conforman el soporte de este tipo de geoformas. (Consortio Tracasa/Nipsa, 2015)
- **Depósitos Glaciares:** Conformado por tilitas de composición heterogénea y distribución errática de rocas volcánicas redondeadas a subangulares en una matriz areno arcillosa pero muy poco consolidada. Se las encuentra al oeste de Chaupi. (SIGTIERRAS, 2015)

- **Depósitos Aluviales:** Litológicamente están constituidos por una mezcla de grava, arena y arcilla, compuesto por material detrítico, transportado por el río San Pedro. (SIGTIERRAS, 2015)
- **Formación Cangahua:** Es aquel material volcánico acumulado en las partes altas de la cordillera que recubren en forma discordante a las formaciones antiguas, habitualmente son residuos que han soportado la erosión. La Cangahua es un depósito de toba, ceniza, lapilli da pómez de un espesor aproximado de 30m; predominan las cenizas de grano medio y de color café amarillento. (SIGTIERRAS, 2015)
- **Formación Pisayambo:** Esta formación ha sido dividida en dos partes, una inferior y otra superior, en la primera predominan piroclásticos, brechas gruesas y conglomerados, en la segunda predomina flujos de lava andesita-basálticas masivas. (SIGTIERRAS, 2015)
- **Depósitos superficiales:** Son los materiales que pueden ser residuales o transportados, presentan una baja cohesión y se encuentran sobre el sustrato rocoso de la superficie terrestre. Generalmente los depósitos superficiales no están estratificados y constituyen los depósitos geológicos más recientes. (Geotecnia.online, 2019)
- **Volcánicos Cotopaxi:** Están compuestas de productos volcánicos generados por el mismo volcán, se caracteriza por poseer flujos piroclásticos que fueron precedidos por una notable caída de lapilli de pómez y flujos de lava brechosos. (Charro & Valencia, 2007)
- **Volcánicos Sincholagua:** Esta vieja estructura está conformada por andesita piroxénicas con elevado porcentaje de cuarzo dando un tipo de roca

relativamente ácida. La forma cónica del volcán ha desaparecido casi totalmente a causa de la intensa erosión glaciaria a la que ha sido sometido durante el Pleistoceno, originando en los flancos del volcán profundos nichos y quebradas. Las rocas representativas de las actividades más modernas del volcán son las andesitas piroxénicas, anfibólicas y biotíticas y parece que la presencia de bloques de dacitas siendo el testigo de la última fase de actividad volcánica. (SIGTIERRAS, 2015)

- **Volcánicos Rumiñahui:** Están compuestas de rocas muy diferentes, estos volcánicos están conformados por andesitas y piroclastos y se localizan en las pendientes medias a fuertes aledañas al Rumiñahui, pero así mismo están cubiertas por Cangahua. (SIGTIERRAS, 2015)
- **Volcánicos Pasochoa:** Están asociados a relieves volcánicos, flujos de lava y flancos del volcán. La masa rocosa de este volcán está constituida por andesitas piroxénicas, filones de basalto que atraviesan en forma vertical y transversal los estratos de lavas y piroclásticos, son basaltos feldespáticos con pequeñas cantidades de olivino. (SIGTIERRAS, 2015).
- **No aplica:** Están conformadas por cuerpos de agua, por los sistemas de drenaje.

Figura 21

Geología Zona Norte

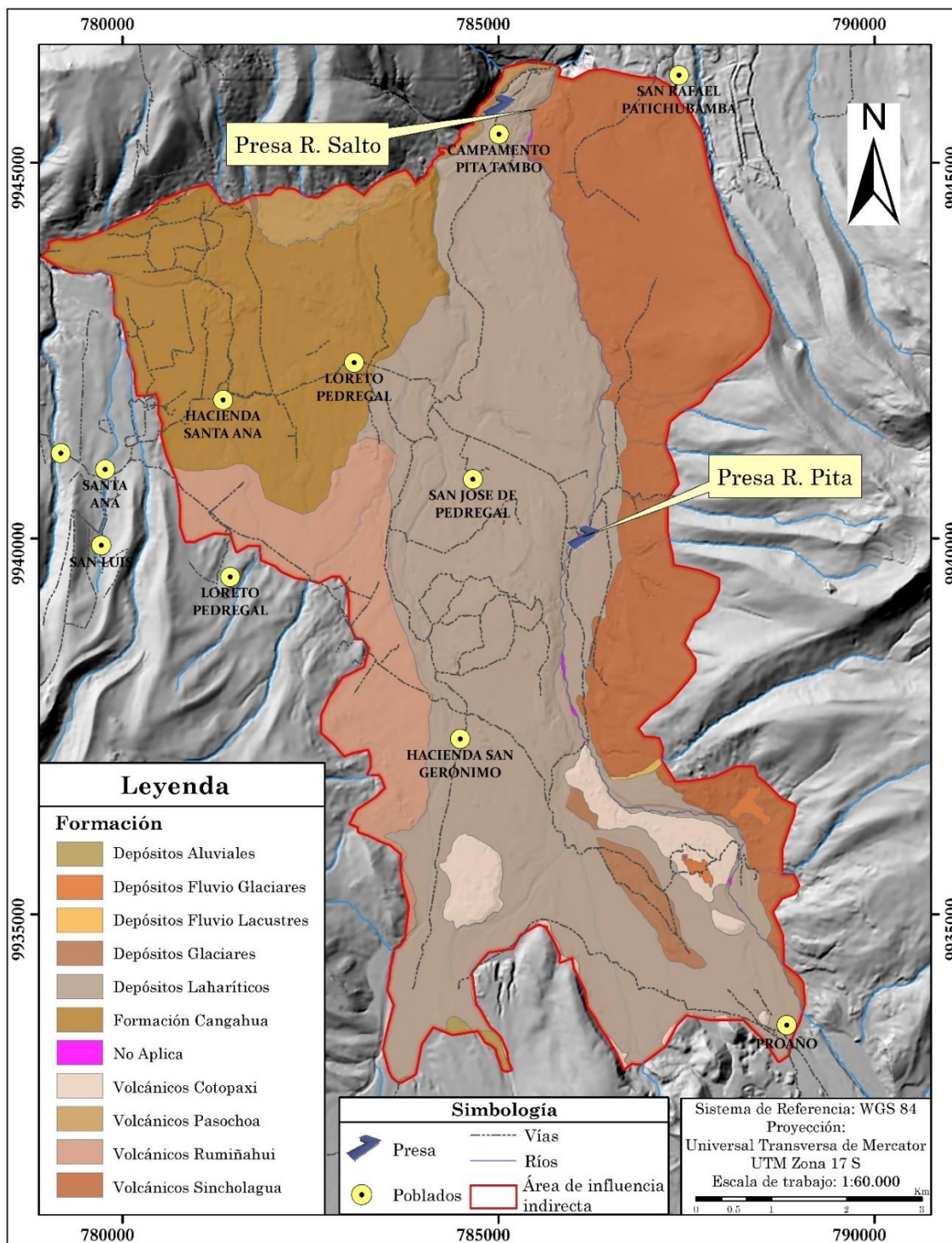
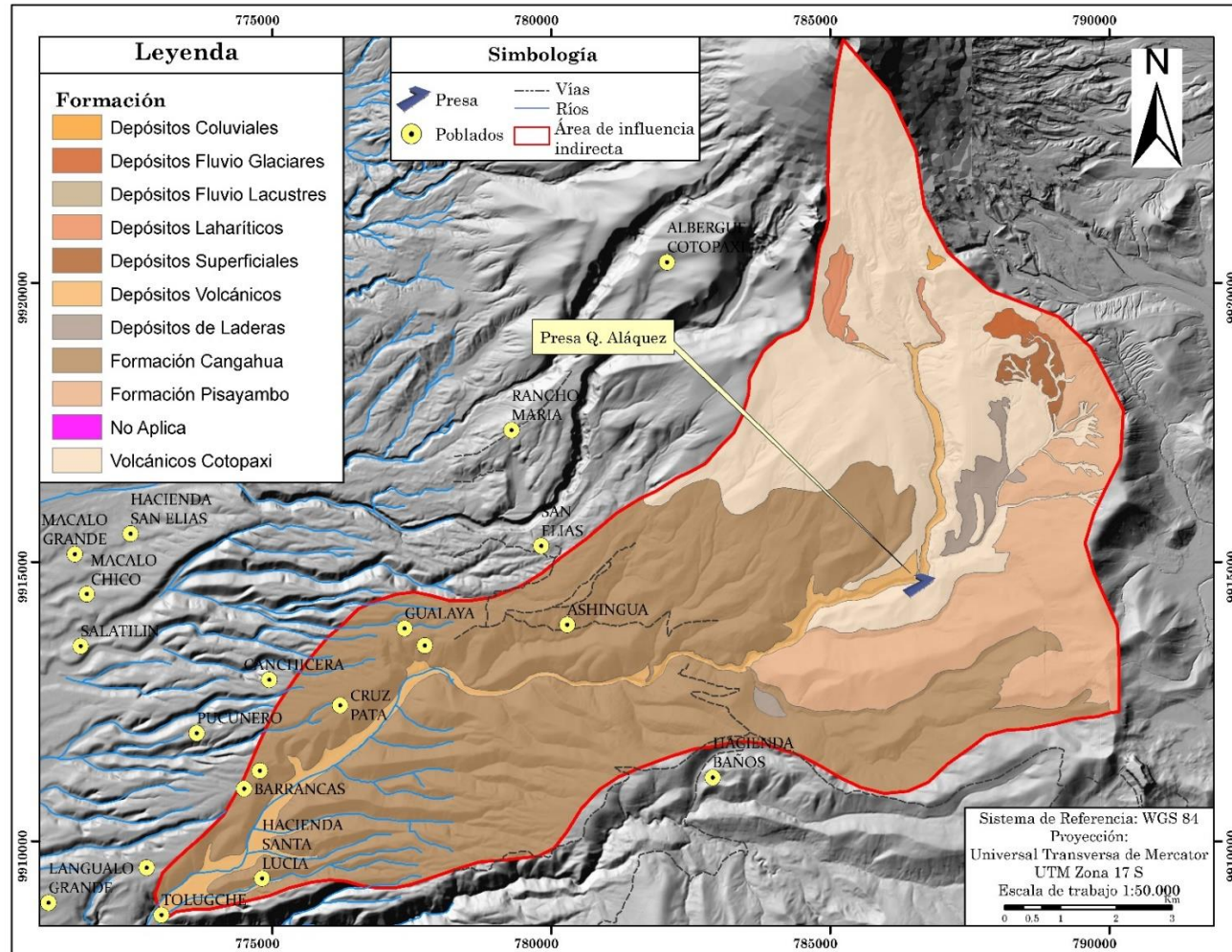


Figura 22

Geología Zona Sur



Geomorfología

La geomorfología del Ecuador ha sido modelada por el levantamiento de la Cordillera de los Andes, influencia orogénica, que conlleva otros procesos estructurales (fallas), de vulcanismo (volcanes) y litológicos (suelos). (MAE, 2013)

Según la información obtenida del SIGTIERRAS del año 2015, en las zonas de estudio existen las siguientes génesis geomorfológicas descritas en la Tabla 13, y en las Figuras 23 y 24 se visualiza la distribución espacial de cada zona.

Tabla 13

Génesis Geomorfológicas

GEOMORFOLOGÍA				
Génesis	Zona Norte		Zona Sur	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Deposicional	12,34	0,17	-	-
Erosión fluvial	-	-	17,43	0,16
Erosivo	-	-	6,85	0,06
Estructural	-	-	401,37	3,89
Fluvial	-	-	1506,97	14,62
Fluvio Lacustre	19,82	0,27	-	-
Fluvio Glaciar	4,49	0,06	39,28	0,38
Glaciar	241,12	3,37	-	-
Glaciar y periglaciar	-	-	70,61	0,68
Laderas	7,66	0,1	3403,01	33,01
Poligénicas	-	-	837,96	8,12
Volcánico	6836,41	95,76	4023,68	39,03
No aplica	16,66	0,23	-	-
TOTAL	7138,53	100%	10307,21	100%

Nota: Recuperado de (SIGTIERRAS, 2015)

- **Deposicional:** Se refiere a formas originadas en el transporte por agentes erosivos como el agua, hielo o viento, que constituyen medios de acarreo.
- **Erosivo Fluvial:** Los relieves modelados por la acción de las aguas corrientes pertenecen a este tipo, los relieves y procesos fluviales son los elementos dominantes en las superficies continentales. Es el resultado de una compleja interacción entre los procesos erosivos y de depósito.
- **Erosivo:** Es el proceso de arranque de materiales por los procesos geológicos. Es el mecanismo geológico de denudación de los continentes. Se ve favorecida por la meteorización, alteración y disgregación previa de las rocas.
- **Estructural:** Formas o modelados estructurales, resultado de la interacción entre los diversos procesos erosivos y la litología y estructura de las rocas. Posee formas debidas a factores inherentes al tipo de roca (litología).
- **Fluvial:** Formas y depósitos ligados a ríos y al flujo de agua habitualmente encauzada. Se ordenan en 3 grupos de geoformas: a) valles fluviales y formas relacionadas con predominio de sedimentación; b) encajamientos e incisiones fluviales; c) canales fluviales y otros elementos asociados.
- **Fluvio Lacustre:** Formas y depósitos ligados a lagos, lagunas y áreas endorreicas en general, incluyendo depresiones con acumulación de agua esporádica, temporal o permanente. Se excluyen lagos y lagunas generados en medio volcánico y glacial-periglacial.
- **Fluvio Glaciar:** Son los depósitos, formas de relieve y fenómenos cuya causa reside en las aguas corrientes procedentes de la fusión de glaciares.

- **Glaciar:** Formas y depósitos producidos por la acumulación de hielo (glaciares).
- **Glaciar y periglaciar:** Formas y depósitos producidos por la acumulación de hielo (glaciares), así como en las zonas de su periferia o en las que dominan los ciclos de hielo y deshielo del terreno (periglaciares) Los relieves modelados por la acción de las aguas corrientes se denominan relieves fluviales.
- **Laderas:** Formas y depósitos relacionados con la evolución y dinámica de las laderas o vertientes.
- **Poligénicas:** Formas y depósitos que tienen su origen en dos o más grupos genéticos o que son de difícil adscripción a uno concreto.
- **Volcánico:** Se incluyen formas y depósitos tanto asociados directa o indirectamente a edificios volcánicos recientes como relieves que aparecen sobre sustrato volcánico.
- **No aplica:** Constituye las áreas pertenecientes a ríos, centros poblados, o con características similares a estas al representarlas o cartografiarlas.

Figura 23

Geomorfología Zona Norte

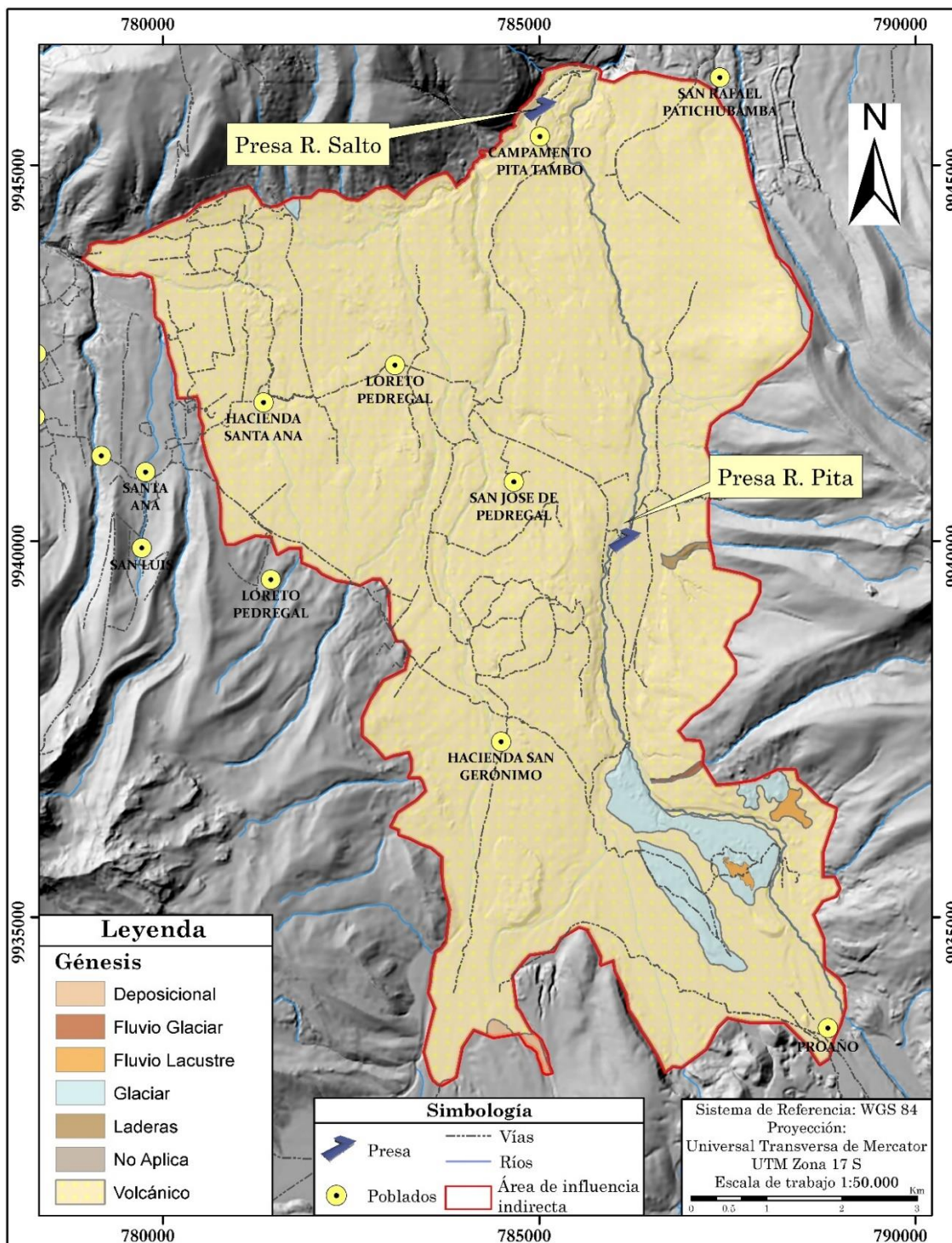
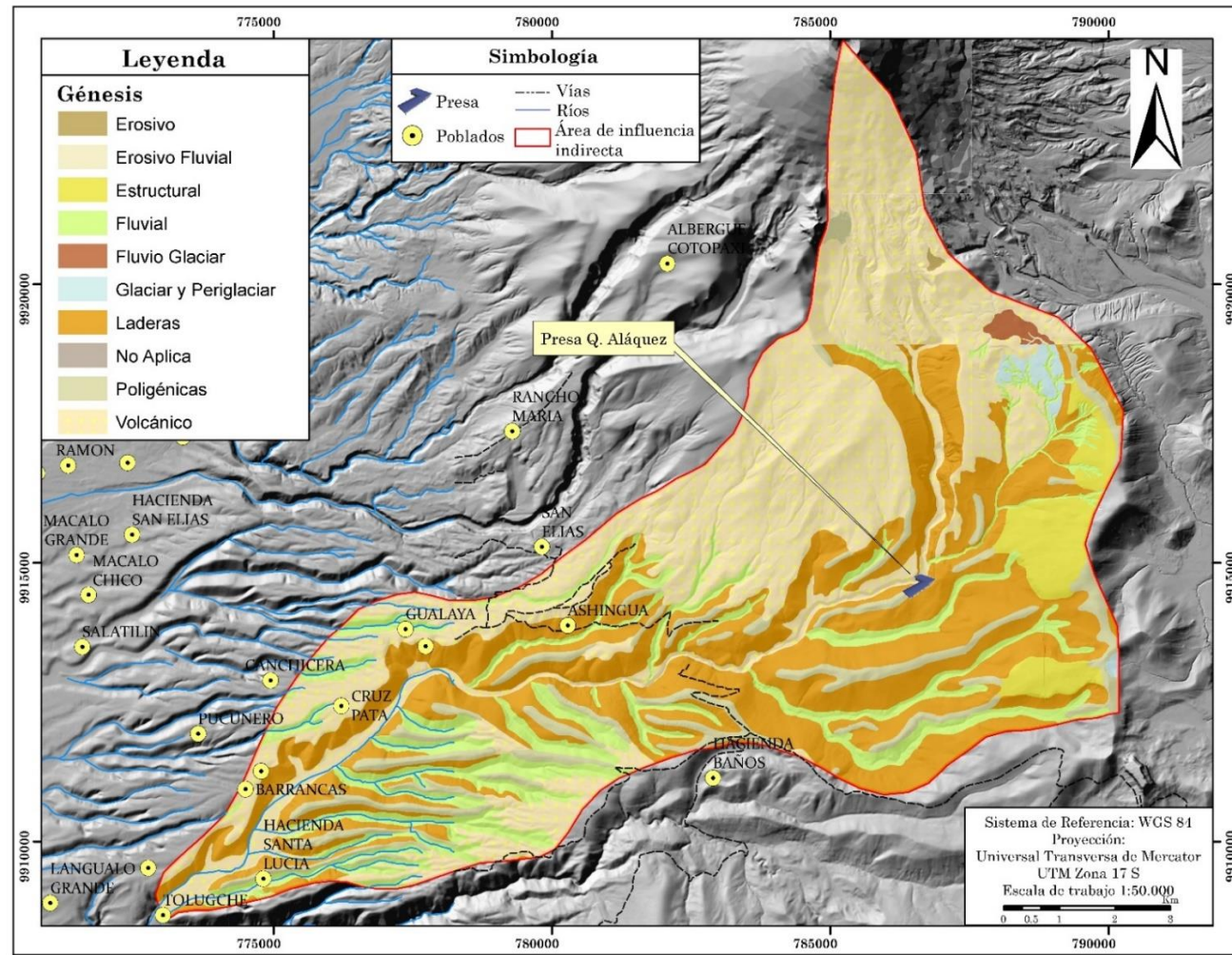


Figura 24

Geomorfología Zona Sur



Suelo

Como se mencionó anteriormente, en las zonas de estudio se observa un paisaje caracterizado por relieve desde muy bajos a muy altos, de origen volcánicos asociados a las formaciones Cangahua, Pisayambo y volcánicos como Pasochoa, Rumiñahui, Cotopaxi, donde los suelos son en su mayoría de texturas franco-arenosas. (GAD MEJÍA, 2015)

Según los datos obtenidos de SIGTIERRAS del año 2015, en las zonas de estudio existen los siguientes órdenes de suelo descritos en la Tabla 14. De igual manera en las Figuras 25 y 26, se visualiza la distribución espacial de cada zona.

Tabla 14

Órdenes del Suelo

Orden	Suelo			
	Zona Norte		Zona Sur	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Andisoles	-	-	4503,76	43,69
Entisoles	1000,65	14,01	1824,53	17,7
Inceptisoles	5612,25	78,61	1007,23	9,77
Mollisoles	513,79	7,19	1531,82	14,86
Nieve	-	-	810,4	7,86
Sin Suelo	11,82	0,16	629,45	6,1
TOTAL	7138,51	100%	10307,21	100%

Nota: Recuperado de (SIGTIERRAS, 2015)

- **Andisoles:** Generalmente son suelos negros que se desarrollan a partir de depósitos volcánicos (ceniza volcánica, piedra pómez, lava) o de materiales

piroclásticos. Presentan un apreciable contenido de arcillas amorfas y/o complejos de humus-aluminio, y una baja densidad aparente ($< 0,90 \text{ g/cm}^3$). Estos suelos sufren un rejuvenecimiento frecuente y se enriquecen con los materiales nutricionales orgánicos, poseen una buena estructura, con un buen drenaje y retención de humedad. Generalmente, si están cercanos al volcán, su textura es gruesa y si están alejados, la textura es más fina como limosa o franco limoso. (SIGTIERRAS, 2017)

- **Entisoles:** Son suelos que se caracterizan por ser de baja evolución, con muy poca o ninguna evidencia de formación de horizontes edafogénicos; tal vez porque su tiempo de desarrollo ha sido muy corto o muy lento. Se encuentran en pendientes fuertes, que aceleran los procesos de erosión o en áreas susceptibles a inundaciones. También suelen aparecer en zonas de barrancos con aluviones constantes que no permiten el desarrollo en profundidad. (SIGTIERRAS, 2017)
- **Inceptisoles:** Son suelos jóvenes que están empezando a manifestar el desarrollo de los horizontes pues son ligeramente más desarrollados que los Entisoles. Tienen uno o más horizontes de diagnóstico cuya génesis es de rápida formación, con procesos de translocación de materiales o meteorización extrema. En este orden encontramos suelos con propiedades físicas y químicas muy variables, como por ejemplo: suelos desde mal drenados a bien drenados, texturas de arenosas a arcillosas. (SIGTIERRAS, 2017)
- **Mollisoles:** La principal característica de estos suelos es la existencia de un horizonte superficial rico en materia orgánica y bases de cambio, de color

oscuro y con otras excelentes propiedades físicas favorables para el desarrollo radicular. La mayoría presentan una vegetación de pastizal, aunque también se les encuentra bajo vegetación forestal. (SIGTIERRAS, 2017)

- **Nieve:** Corresponde a las áreas pertenecientes a los flancos del volcán donde existe el casquete de nieve.
- **Sin suelo:** Se considera todas las áreas que no son suelo como: centros poblados, ríos dobles o con características similares a estas al representarlas o cartografiarlas.

Figura 25

Orden de Suelos Zona Norte

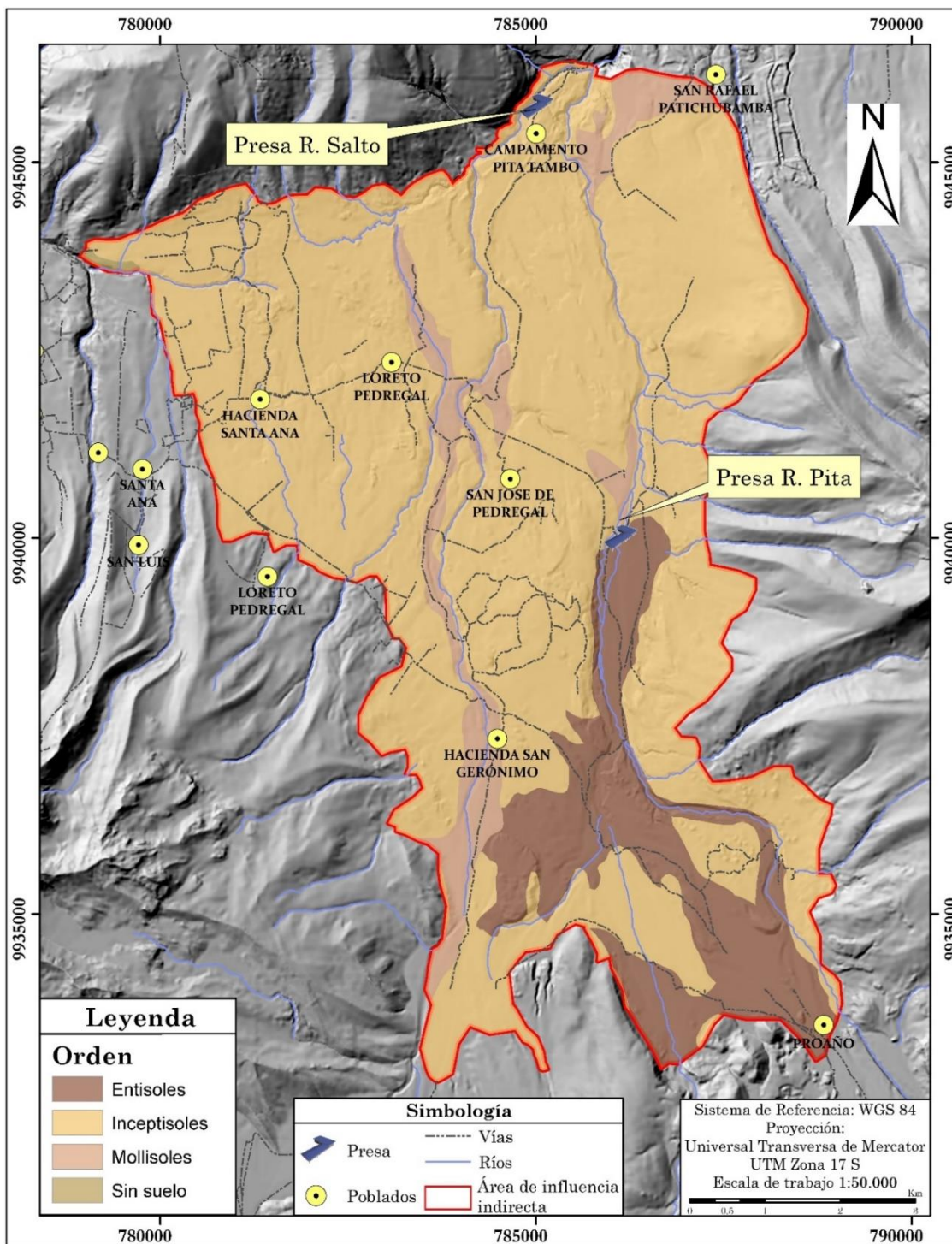
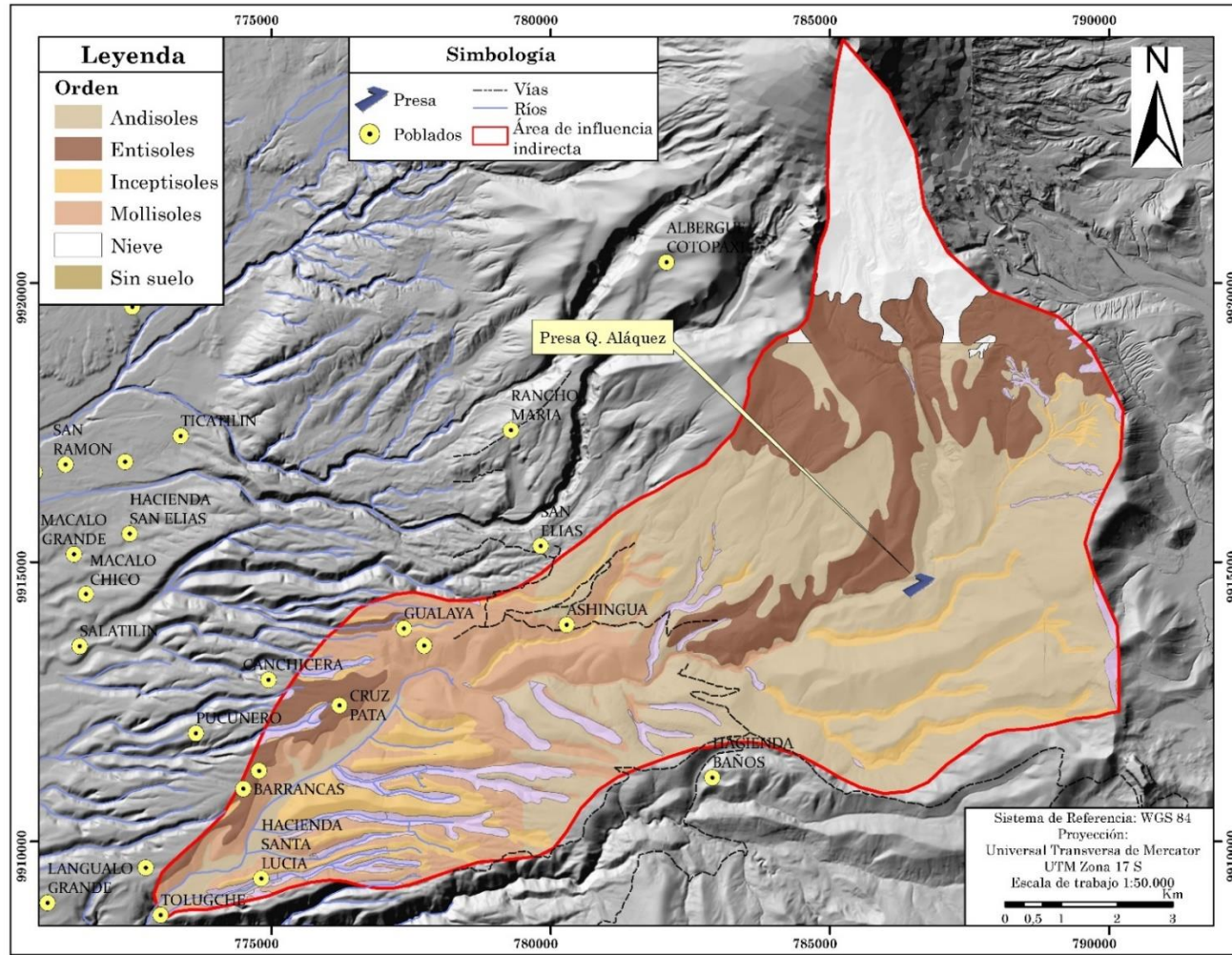


Figura 26

Orden de Suelos Zona Sur



Componente Biótico

En los valles interandinos la vegetación original casi en su totalidad ha sido destruida durante los últimos años y reemplazada por campos dedicados a pastizales, actividades industriales y la agricultura. La vegetación original se encuentra solo en las quebradas profundas y en los bordes de los campos agrícolas. (Albuja et al., 2012)

De acuerdo a la clasificación zoogeográfica del Ecuador, las zonas del proyecto se ubican en el piso templado. (Albuja et al., 2012) El piso templado se ubica en la sierra del Ecuador, cuyo principal accidente geográfico es la cordillera de los Andes. (Empresa Eléctrica Quito, 2016)

Fauna

En estos hábitats fragmentados, la fauna que existe está constituida por especies cosmopolitas, es decir especies de amplia distribución en los valles interandinos y que se han adaptado fácilmente a estas zonas.

Según el PDOT del Cantón Mejía para la zona norte y el PDOT de la parroquia Mulaló para la zona sur, existen las siguientes especies importantes en ambas zonas del proyecto:

Tabla 15

Especies faunísticas de la zona norte y sur

Aves		Mamíferos	
Guragchuro	Cóndor	Venado	Ciervo
Tórtola	Quilico	Puma	Gato andino
Mirlo	Águila andina	Oso	Raposa

Aves		Mamíferos	
Gorrión	Colibrí	Conejo	Ratón bolsoero
Quinde	Zumbador	Comadreja	
Búhos	Carpintero	Zarigüeya	
Curiquingue	Paloma perdiz	Perro de monte	

Nota: Recuperado de (GAD MULALÓ, 2014), (GAD MEJÍA, 2015)

Por medio de la plataforma BIOWEB desarrollada por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, se obtuvo mapas de distribución geográfica de algunas especies, representadas por la idoneidad de hábitats, que son valores que van desde 0 (idoneidad nula) hasta 1 (idoneidad alta).

En la Tabla 16 y en la Figura 27, se observan las especies más representativas y de las cuales existe la distribución geográfica, tanto para la zona norte como sur.

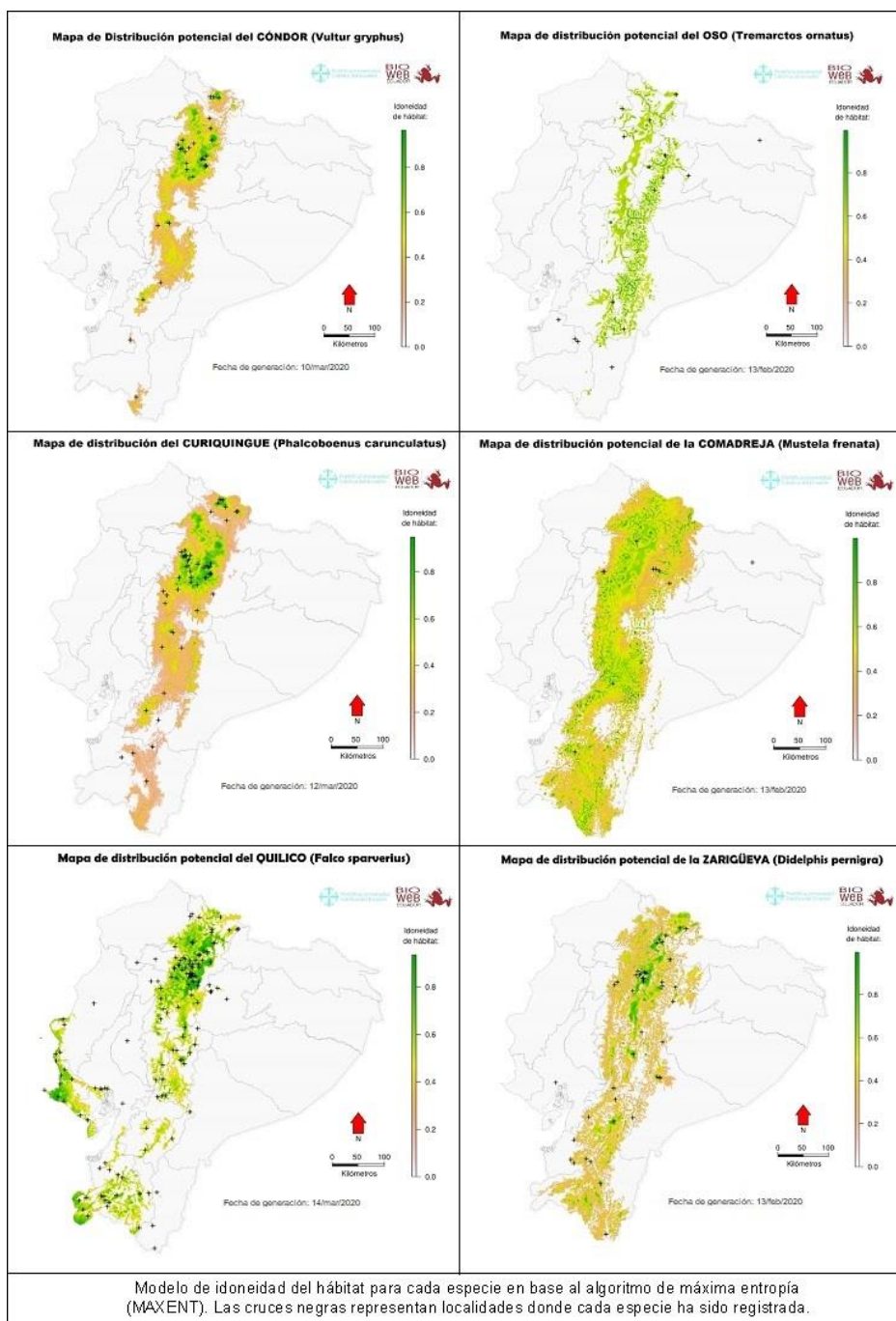
Tabla 16

Especies representativas

Especies	
Zona Norte	Zona Sur
Cóndor	Cóndor
Oso	Oso
Curiquingue	Zarigüeya
Comadreja	Quilico

Figura 27

Idoneidad de Hábitat para cada Especie Representativa



Nota: Recuperado de (BioWeb, 2019)

Flora

Con base a la documentación existente sobre la cartografía de unidades vegetales, se presenta la siguiente clasificación de cobertura vegetal de acuerdo al SIGTIERRAS del año 2015, como se observa en la Tabla 17 y en las Figuras 28 y 29.

Tabla 17

Clasificación de la cobertura vegetal

Cobertura Vegetal				
Tipo	Zona Norte		Zona Sur	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Páramo	-	-	4681,3	45,42
Plantación Forestal	261,22	3,66	1760,19	17,08
Vegetación Arbustiva	1828,88	25,61	19,21	0,19
Vegetación Herbácea	4964,90	69,54	3190,77	30,96
No aplica	84,90	1,19	655,77	6,36
TOTAL	7139,9	100%	10307,24	100%

Nota: Recuperado de (SIGTIERRAS, 2015)

- **Páramo:** Ecosistema altoandino, predominantemente herbáceo, puede incluir además una cantidad variable de arbustos pequeños de hojas coriáceas intercalado con pequeñas machas de bosque o matorrales. Entre los arbustos más conocidos están el romerillo (*Hypericum laricifolium*, Hypericaceae) y la chuquiragua (*Chuquiraga jussieui*, Asteraceae), aunque hay muchos más de los géneros *Baccharis*, *Diplostephium*, *Loricaria* y *Gynoxis* (Asteraceae), *Valeriana* (Valerianaceae), *Calceolaria* (Scrophulariac

ae), *Pernettya*, *Disterigma*, *Vaccinium* y *Gaultheria* (Ericaceae)
Arcytophyllum (Rubiaceae) y *Acaena* (Rosaceae). (IEE, 2013)

- **Plantación Forestal:** Las plantaciones forestales tienen un uso de protección y producción y se distribuyen en las zonas de estudio. Estas tierras son ocupadas para la producción de especies forestales como eucalipto y pino principalmente. (IEE, 2013)
- **Vegetación Arbustiva:** Ecosistema tropical altoandino, incluye una cantidad variable de arbustos pequeños de hojas coriáceas intercalado con pequeñas machas de bosque o matorrales. Entre los arbustos más conocidos están el romerillo (*Hypericum laricifolium*, Hypericaceae) y la chuquiragua (*Chuquiraga jussieui*, Asteraceae), aunque hay muchos más de los géneros *Baccharis*, *Diplostephium*, *Loricaria* y *Gynoxis* (Asteraceae), *Valeriana* (Valerianaceae), *Calceolaria* (Scrophulariac eae). (IEE, 2013)
- **Vegetación Herbácea:** Tiene una vegetación dominante de tipo herbáceo con predominio de especies como paja (*Stipa ichu*), bromelias de los géneros *Puya*, *Guzmania*, *Tillandsia*; ericáceas de los géneros *Cavendishia*, *Vaccinium*, *Gaultheria*, chuquiragua (*Chuquiraga jussieui*) y *Miconia ligustrina*. Además, dentro de esta clasificación se encuentran los cultivos y el pastizal. (IEE, 2013).
- **No aplica:** Pertenecen todas las áreas ocupadas por cuerpos de agua o centros poblados.

Figura 28

Cobertura Vegetal Zona Norte

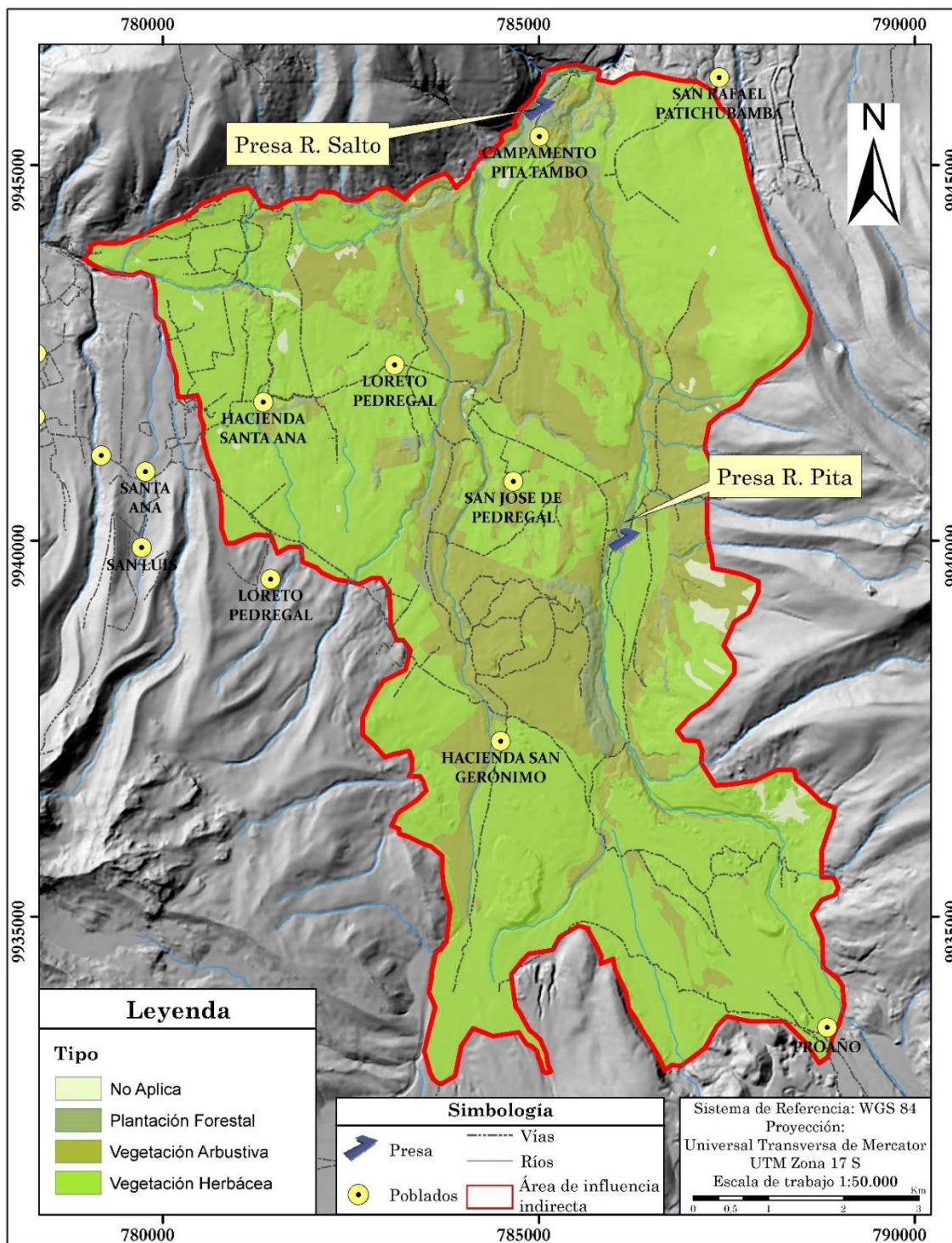
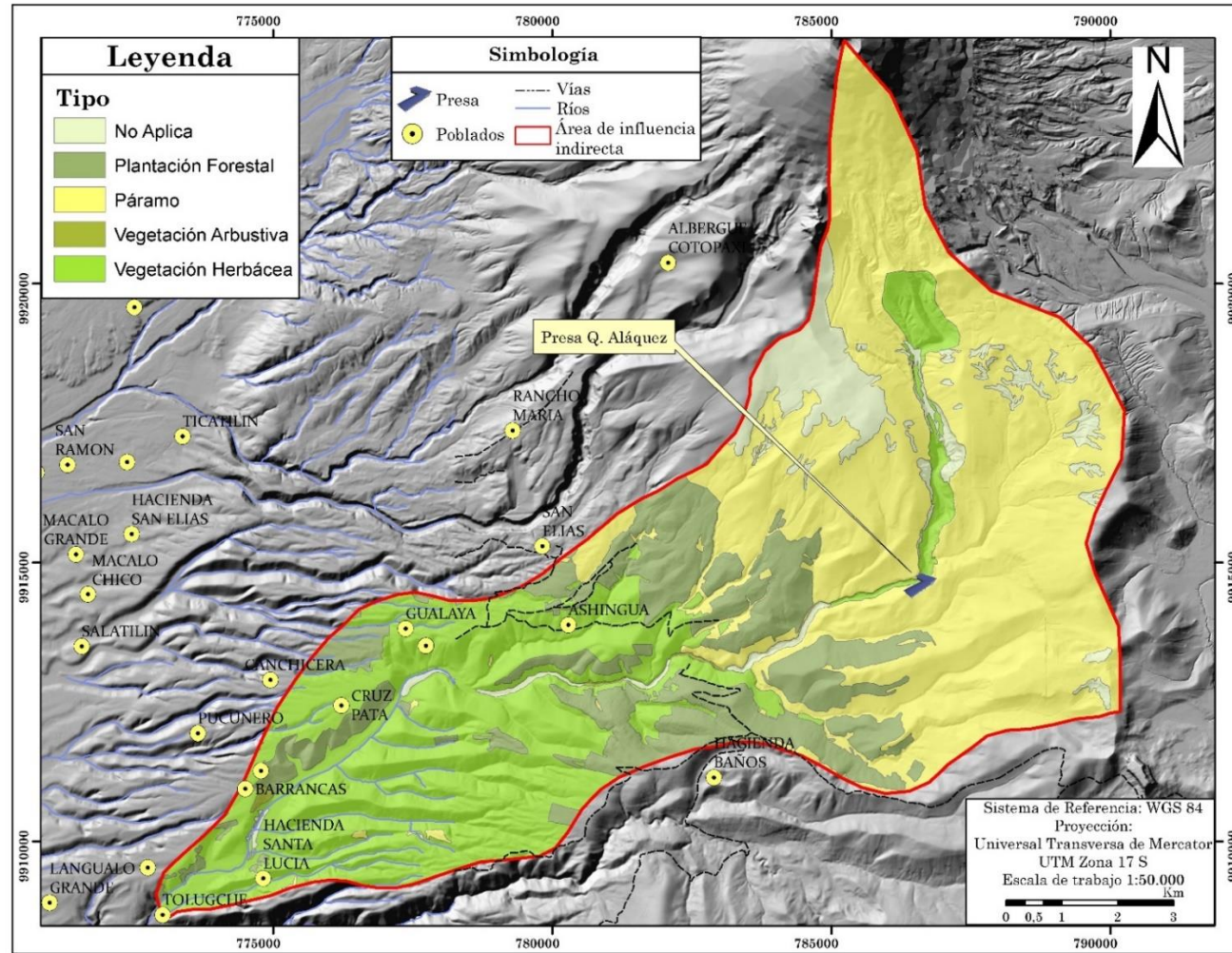


Figura 29

Cobertura Vegetal Zona Sur



Componente Social

Para estimar la población directamente beneficiada de este proyecto en las zonas de influencia indirecta, tanto norte y sur, se obtuvo el número de personas que habitan dentro de cada uno de los sectores censales que propone el INEC a través del Censo de Población y Vivienda del año 2010.

Demografía

Para la zona norte, el número de personas beneficiadas dentro de las zonas censales es de 298, de las cuales 150 son hombres, que representan el 50,33 % y 148 mujeres que representan el 49,66 %. Por su parte para la zona sur el número de personas es de 398, de las cuales 196 son hombres, que representan el 49,24 % y el 50,76 % corresponde a 202 mujeres. (INEC, 2010)

El número de personas para la zona norte y sur se presenta en la Tabla 18.

Tabla 18

Población de las zonas de estudio

Población				
	Zona Norte		Zona Sur	
Sexo	# personas	%	# personas	%
Masculino	150	50,33	196	49,24
Femenino	148	49,67	202	50,76
TOTAL	298	100%	398	100%

Nota: Recuperado (INEC, 2010)

La distribución por auto denominación étnica de las personas dentro del sector censal beneficiado se basa en la cultura y costumbres de la población.

Aunque el criterio sobre lo que significa la cultura puede ser diverso, el concepto dentro del marco censal se refiere a cómo los distintos pueblos organizan su forma de vida, la política, la familia, el parentesco, entre otros aspectos.

Desde esta perspectiva, todos los habitantes dentro de las áreas de influencia indirecta se autodenominan según se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19

Auto identificación de la población de las zonas de estudio

Identificación	Auto Identificación			
	Zona Norte		Zona Sur	
	# personas	%	# personas	%
Indígena	8	2,68	10	2,51
Mestizo	287	96,3	372	93,46
Blanco	2	0,67	15	3,76
Otro/a	1	0,33	1	0,25
TOTAL	298	100%	398	100%

Nota: Recuperado de (INEC, 2010)

Las zonas de influencia indirecta son áreas rurales dedicadas principalmente a la agricultura y ganadería, motivo por el cual 72 personas en la zona norte y 157 en la zona sur, dentro de la población económicamente activa pertenecen a esta rama.

(INEC, 2010)

Vivienda

La vivienda define la forma de vida de la población y a su vez la capacidad de proteger a los habitantes de agentes externos y brindarles seguridad y privacidad. En la zona de estudio un alto porcentaje de viviendas presentan condiciones de habitabilidad

bajas, pues la mayoría de las viviendas carecen de servicios básicos. En la Tabla 20 se presenta el número y tipos de vivienda presentes en la zona norte y sur.

Tabla 20

Tipos de Vivienda en las Zonas de Estudio

Tipo de Vivienda	Vivienda		Zona Sur	
	Zona Norte			
	# viviendas	%	# viviendas	%
Casa/Villa	126	69,61	88	35,2
Departamento en casa o edificio	1	0,55	-	-
Mediagua	48	24,86	77	30,8
Choza	6	3,31	62	24,8
Rancho	-	-	14	5,6
Covacha	-	-	6	2,4
Otra vivienda particular	-	-	3	1,2
TOTAL	181	100%	250	100%

Nota: Recuperado (INEC, 2010)

Capítulo V

Metodología

Para identificar y evaluar los impactos ambientales, se detallaron las actividades que se realizarán en cada fase del proyecto (construcción, operación y abandono) (Tabla 21), y los impactos que se generarían con cada acción en los tres componentes: físico, biótico y social (Tabla 22).

Tabla 21

Actividades del Proyecto

Fase de construcción
Desbroce y limpieza de vegetación
Excavación, explanación y movimientos de tierras
Explosivos y voladuras
Explotación de materiales pétreos
Desvío del cauce natural del drenaje
Transporte de maquinarias, materiales y personal
Construcción y reconfiguración de vías de acceso a obra
Construcción del cuerpo de la presa
Fase de operación
Presencia de la presa
Labores de mantenimiento
Mantenimiento de vías de acceso
Fase de abandono
Desmontaje de instalaciones civiles
Rehabilitación de áreas inundadas
Generación de desechos sólidos

Nota: Recuperado de (Ministerio del Ambiente del Perú, 2018)

Tabla 22*Impactos Ambientales del Proyecto*

Impactos	Construcción	Operación	Abandono
Alteración del relieve local	✓	X	✓
Alteración de la calidad visual del paisaje	✓	✓	✓
Alteración de la calidad del aire por generación de material particulado	✓	✓	✓
Incremento en los niveles de ruido	✓	✓	✓
Incremento de vibraciones	✓	✓	✓
Alteración de la calidad del agua por incremento de sedimentos	✓	✓	✓
Cambio en el caudal del curso de agua	✓	X	✓
Cambio en la dinámica de la erosión del suelo	✓	✓	✓
Cambio de uso de suelo	✓	X	✓
Pérdida de cobertura vegetal	✓	✓	✓
Alteración de la flora por presencia de material particulado	✓	✓	✓
Recuperación de la cobertura vegetal	X	✓	✓
Perturbación de la fauna silvestre	✓	✓	✓
Pérdida de hábitat para la fauna	✓	✓	✓
Oportunidad de generación de empleo local	✓	✓	✓
Cambio en las actividades económicas	✓	✓	✓
Expectativas de inversión social	✓	✓	✓

Nota: Recuperado de (Ministerio del Ambiente del Perú, 2018)

Las acciones e impactos se especificaron mediante una lista de chequeo extraída de la “Guía para la identificación y caracterización de impactos ambientales” del Ministerio de Ambiente de Perú.

Con los impactos identificados, se procede a valorarlos usando el método de Evaluación Multicriterio (EMC), únicamente para la fase de construcción y la metodología de Matriz de Importancia ambiental (MIA) para todas las fases del proyecto.

En las fases de operación y abandono no se ocupó la EMC, ya que ocupan áreas correspondientes al área de influencia directa, y los shapefiles de información espacial utilizados, no permitieron discernir el nivel de detalle necesario para ocupar esta metodología.

A continuación se describe el proceso para el uso de cada metodología.

Evaluación Multicriterio (EMC)

Este método permite la integración de distintas variables físicas, bióticas y sociales proporcionando una valoración para cada uno, teniendo en cuenta la relación que existe con los impactos que se generarían en la fase de construcción.

A partir de la caracterización ambiental, se escogieron las variables ambientales que podrían verse afectadas con la construcción de la presa. Se tomó en cuenta aquellas que cumplan características mínimas como:

- Ser de fácil reconocimiento
- Ser característicos del entorno afectado
- Ser relevantes

Se seleccionaron las variables de acuerdo a cada componente como se visualiza en la Tabla 23. Estas variables fueron utilizadas para la zona norte y sur, donde cambian ciertos atributos propios de cada zona.

Tabla 23

Lista y Fuente de las Variables Ocupadas para la EMC

Componente	Variables	Fuente de información	Escala/ Tamaño de pixel	Tipo
Físico	Suelo	SIGTIERRAS (2015)	1:50.000	Polígono
	Geología		1:25.000	Polígono
	Geomorfología		1:25.000	Polígono
	Pendiente	IGM (2013)	100 metros	Ráster
	Hidrografía	SENAGUA (2011)	1:25.000	Línea
Biótico	Fauna	BIOWEB (2019)	1000 metros	Ráster
	Cobertura Vegetal	SIGTIERRAS (2015)	1:25.000	Polígono
Social	Poblados	INEC (2010)	1:25.000	Punto
	Vías de acceso	IGM (2013)	1:5.000	Línea

Se tomó en cuenta también el criterio de “distancia” como otra variable, ya que entre cercanas se encuentren las variables de las presas, tendrán un mayor impacto ambiental.

Para realizar la EMC, se seleccionaron los atributos de cada variable y se estandarizó a una misma escala de importancia de 1 (muy bajo impacto) a 5 (muy alto

impacto). Este procedimiento se realizó, ya que las distintas variables pueden tener valores absolutos muy diferentes, por lo que es necesario normalizarlos para evitar soluciones sesgadas hacia aquellas que alcancen los valores más altos. (Romero, 2016)

La importancia se definió tomando en cuenta las características propias de cada atributo perteneciente a las variables mencionadas, desde un punto de vista de vulnerabilidad hacia los impactos. Para ello se consultó a varios expertos en el tema (Ing. Civil, Ing. Hidráulico, Ing. Ambiental e Ing. Geógrafo), y en base a los conceptos presentes en las memorias técnicas de la información geográfica obtenida. En la Tabla 24 se presenta los criterios empleados para definir la importancia de cada atributo perteneciente a su respectiva variable y en la Tabla 25 se observa los valores de importancia de todos los atributos.

Tabla 24

Criterios de Importancia para los Atributos

Variable	Criterios para mayor importancia según su atributo
Suelo	Cantidad de materia orgánica y evolución de desarrollo de horizontes
Geología	Propiedades litológicas y tiempo de formación
Geomorfología	Forma del relieve vulnerable
Pendiente	Mayor pendiente
Fauna	Representatividad y mayor valor de idoneidad de hábitat
Cobertura Vegetal	Fisonomía

Tabla 25

Importancia de cada Atributo

COMPONENTE FÍSICO			
SUELO		GEOMORFOLOGÍA	
ORDEN	IMPORTANCIA	GÉNESIS	IMPORTANCIA
Andisoles	5	Laderas	5
Entisoles	4	Erosión fluvial	4
Inceptisoles	4	Erosivo	4
Mollisoles	3	Estructural	4
Nieve	1	Volcánico	4
Sin Suelo	1	Fluvial	3
		Glaciar	3
		Fluvio Lacustre	3
GEOLOGÍA		Fluvio Glaciar	2
FORMACIÓN	IMPORTANCIA	Glaciar y periglaciar	2
Depósitos fluvio-glaciares	5	Poligénicas	2
Depósitos fluvio-lacustres	5	Deposicional	2
Depósitos coluviales	4	No aplica	1
Depósitos de ladera	4		
Depósitos glaciares	4		
Depósitos aluviales	4	PENDIENTE	
Depósitos lahárticos	2	TIPO	IMPORTANCIA
Depósitos volcánicos	2	Muy escarpada(>150-200%)	5
Formación Cangahua	2	Escarpada(>100-150%)	5
Formación Pisayambo	2	Muy fuerte(>70-100%)	4
Depósitos Superficiales	2	Fuerte(>40-70%)	4
Volcánicos Cotopaxi	1	Media a fuerte(>25-40%)	3
Volcánicos Sincholagua	1	Media(>12-25%)	3
Volcánicos Rumiñahui	1	Suave(>5-12%)	2
Volcánicos Pasachoa	1	Muy suave(>2-5%)	2
No aplica	1	Plana (>0-2%)	1
COMPONENTE BIÓTICO			
COBERTURA VEGETAL		FAUNA	
TIPO	IMPORTANCIA	ESPECIE	IMPORTANCIA
Páramo	5	Cóndor	4
Plantación Forestal	4	Oso	3
Vegetación Arbustiva	3	Curiquingue	2
Vegetación Herbácea	2	Zarigueya	2
No aplica	1	Comadreja	1
		Quilico	1

Para las variables distancia, hidrografía, poblados y vías de acceso (las dos últimas pertenecientes al componente social) se realizó un análisis de proximidad mediante la herramienta “Euclidean Distance” de Arcgis, la cual nos generó un raster de salida donde establece la distancia de cada celda en el raster hasta la fuente (presas, ríos, poblados y vías) más cercana. Estos valores se normalizaron e invirtieron según la ecuación 1, ya que entre menor sea la distancia, tendrán un mayor valor de impacto.

$$N = 1 - \frac{\text{"Raster"} - \text{"raster mínimo"}}{\text{"raster máximo"} - \text{"raster mínimo"}} \quad (1)$$

Donde:

N: Valor normalizado

“Raster”: Ráster de la variable

“ráster mínimo”: valor mínimo del ráster

“ráster máximo”: valor máximo del ráster

Todas las variables de tipo polígono fueron convertidas a formato ráster según el valor de importancia de cada atributo, con un tamaño de pixel de 10 m.

Una vez definida la importancia de cada atributo, se realizó la ponderación de cada variable en base al método del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) desarrollada por Thomas Saaty, donde se compara la importancia de cada una de las variables, estableciendo un peso a cada una, atribuyéndole una medida cuantitativa. (Da Silva & Daniel Cardozo, 2015)

Para realizar este método, se generó una matriz de comparación, que debe tener el mismo número de columnas y filas, lo que significa que es una matriz de comparación de pares de criterios. Con esta matriz es posible contrarrestar la

importancia de cada variable con respecto a las demás de acuerdo a los valores establecidos en la Tabla 26.

Tabla 26

Escala en el Método de Comparación por Pares

Importancia (Juicio de Preferencia)	Valor
Extremadamente fuerte	9
Muy fuerte a extremadamente fuerte	8
Muy fuerte importancia	7
Fuerte a muy fuerte importancia	6
Fuerte importancia	5
Moderada a fuerte importancia	4
Moderada importancia	3
Igual a moderada importancia	2
Igual importancia	1

Nota: Recuperado de (Malczewski, 1999)

La importancia de cada variable se definió de acuerdo a la Tabla 27, donde se hizo un análisis por cada componente.

Tabla 27

Importancia de cada Variable

Componente	Variabes	Importancia
Físico	Suelo	7
	Geología	1
	Geomorfología	7
	Pendiente	3

Componente	Variables	Importancia
	Hidrografía	5
Biótico	Fauna	5
	Cobertura Vegetal	7
Social	Poblados	7
	Vías de acceso	5
-	Distancia	9

Con esta clasificación, se realizó el análisis jerárquico de las variables distribuidas por componentes (ver Tabla 28, 29 y 30). Cabe resaltar que la variable distancia se incluyó para todos los componentes.

Tabla 28

AHP del Componente Físico

Componente Físico							
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	Ponderación
(1) Suelo	1	7	1	7/3	7/5	1	0,2333
(2) Geología	1/7	1	1/7	1/3	1/5	1/7	0,0333
(3) Geomorfología	1	7	1	7/3	7/5	1	0,2333
(4) Pendiente	3/7	3	3/7	1	3/5	3/7	0,1000
(5) Hidrografía	5/7	5	5/7	5/3	1	5/7	0,1666
(6) Distancia	1	7	1	7/3	7/5	1	0,2333

Tabla 29*AHP del Componente Biótico*

Componente Biótico				
	(1)	(2)	(3)	Ponderación
(1) Flora	1	7/5	7/9	0,3333
(2) Fauna	5/7	1	5/9	0,2381
(3) Distancia	9/7	9/5	1	0,4286

Tabla 30*AHP del Componente Social*

Componente Social				
	(1)	(2)	(3)	Ponderación
(1) Poblados	1	7/5	7/9	0,3333
(2) Vías	5/7	1	5/9	0,2381
(3) Distancia	9/7	9/5	1	0,4286

Los valores ubicados en la diagonal siempre es 1, ya que son variables de igual importancia. La asignación de los valores bajo la diagonal, son inversos a los valores ubicados en la parte superior de la misma. Una vez establecidos todos los valores de la matriz, es necesario sumar cada columna y obtener un total de la columna. Se realiza una segunda matriz donde se divide cada celda por el total de la columna. Finalmente se calcula el promedio de cada fila para establecer la ponderación o peso de cada

variable. Una consideración para tomar en cuenta es que la suma de la columna de las ponderaciones siempre debe sumar 1.

A cada uno de los raster pertenecientes a las variables de estudio, se le multiplicó individualmente por la variable distancia a través de la herramienta “Raster Calculator” de ArcGis, generando nuevos ráster de cada variable. (Ver Anexos)

Finalmente, para llevar a cabo la EMC se usa la herramienta “Sumatoria Ponderada” de ArcGis, la cual multiplica los valores de cada celda de los nuevos ráster generados por la ponderación dada a cada variable (Tabla 28, 29 y 30), y suma los resultados en un ráster de salida que mantiene la resolución de trabajo, como se visualiza en la ecuación 2. (ESRI, 2014). Se realizó una suma lineal ponderada (WLC) para cada componente.

$$I = \sum_{j=1}^n W_j \cdot x_{ij} \quad (2)$$

Donde:

I : Índice de intensidad del impacto de cada componente

W_j : Peso de la variable

x_{ij} : Valor estandarizado de cada variable

En la sección de resultados se presentará un mapa que integre todas las variables por cada componente.

Matriz de Importancia Ambiental (MIA)

A partir de la identificación de acciones e impactos para cada fase del proyecto, se diseñó una matriz de doble entrada, donde las columnas corresponden a los criterios ambientales detallados en la Tabla 31 y las filas pertenecen a los diferentes impactos que se generarán. Para llenar la matriz de importancia ambiental, se analiza cada impacto de acuerdo a los criterios establecidos y se asigna su valor correspondiente.

Tabla 31

Matriz de Importancia Ambiental (MIA)

	Determinación o significado del criterio	Valor	Clasificación	Impacto
(CI)	A. Carácter del impacto. Se refiere al efecto beneficioso (+) o perjudicial (-) de las diferentes acciones que van a incidir sobre los factores considerados.	(+)	Positivo	
		(-)	Negativo	
(I)	B. Intensidad del impacto. (Grado de afectación) Representa la cuantía o el grado de incidencia de la acción sobre el factor en el ámbito específico en que actúa.	1	Baja	Afectación Mínima
		2	Media	
		4	Alta	
		8	Muy Alta	
		12	Total	Destrucción casi total del factor
(EX)	C. Extensión del impacto. Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto (% del área respecto al entorno en que se manifiesta el efecto).	1	Puntual	Efecto muy localizado
		2	Parcial	Incidencia apreciable en el medio
		4	Extenso	Afecta una gran parte del medio
		8	Total	Generalizado en todo el entorno
(SI)	D. Sinergia. Este criterio contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples, pudiéndose generar efectos sucesivos y relacionados que acentúan las consecuencias del impacto analizado.	1	No sinérgico	Cuando una acción actuando sobre un factor no incide en otras acciones que actúan sobre un mismo factor.
		2	Sinérgico	Presenta sinergismo moderado.
		4	Muy Sinérgico	Altamente sinérgico.
(PE)	E. Persistencia. Refleja el tiempo que supuestamente permanecería el efecto desde su aparición.	1	Fugaz	(< 1 año)
		2	Temporal	(de 1 a 10 años)
		4	Permanente	(> 10 años)

	Determinación o significado del criterio	Valor	Clasificación	Impacto
(EF)	F. Efecto. Se interpreta como la forma de manifestación del efecto sobre un factor como consecuencia de una acción, expresa la relación causa – efecto.	4	Directo o primario	Su efecto tiene una incidencia inmediata en algún factor ambiental, siendo la representación de la acción consecuencia directa de esta.
		1	Indirecto o secundario	Su manifestación no es indirecta de la acción, sino que tiene lugar a partir de un efecto primario, actuando este como una acción de segundo orden.
(MO)	G. Momento del impacto. Alude al tiempo que transcurre entre la acción y el comienzo del efecto sobre el factor ambiental.	1	Largo Plazo	El efecto demora más de 5 años en manifestarse
		2	Mediano Plazo	Se manifiesta en términos de 1 a 5 años.
		4	Corto Plazo	Se manifiesta en términos de 1 año.
		(+4)	Crítico	Si ocurriera alguna circunstancia crítica en el momento del impacto se adicionan 4 unidades
(AC)	H. Acumulación. Este criterio atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.	1	Simple	Es el impacto que se manifiesta sobre un solo componente ambiental, o cuyo modo de acción es individualizado, sin consecuencia en la inducción de nuevos efectos, ni en la de su acumulación, ni en la de sinergia.
		4	Acumulativo	Es el efecto que al prolongarse en el tiempo acción del agente inductor, incrementa progresivamente su gravedad, al carecer el medio de mecanismos de eliminación con efectividad temporal similar a la del incremento de la acción causante del impacto.
(MC)	I. Recuperabilidad. De introducir medidas correctoras, protectoras y de recuperación. Se refiere a la posibilidad de reconstrucción total o parcial del factor afectado como consecuencia del proyecto, es decir, la posibilidad de retomar a las condiciones iniciales (previas a la acción) por medio de la intervención humana	1	Recuperable de inmediato	
		2	Recuperable a mediano plazo	
		4	Mitigable	El efecto puede recuperarse parcialmente
		8	Irrecuperable	Alteración imposible de recuperar, tanto por la acción natural como por la humana.

	Determinación o significado del criterio	Valor	Clasificación	Impacto
	(introducción de medidas correctoras, protectoras o de recuperación).			
(RV)	J. Reversibilidad. Posibilidad de regresar a las condiciones iniciales por medio naturales. Hace referencia al efecto en el que la alteración puede ser asimilada por entorno (de forma medible a corto, mediano o largo plazo) debido al funcionamiento de los procesos naturales, es decir la posibilidad de retomar a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales.	1	Corto Plazo	Retorno a las condiciones iniciales en menos de 1 año.
		2	Mediano Plazo	Retorno a las condiciones iniciales entre 1 y 10 años
		4	Irreversible	Imposibilidad o dificultad extrema de retornar por medios naturales a las condiciones naturales, o hacerlo en un periodo mayor a 10 años.
(PR)	K. Periodicidad. Regularidad de manifestación del efecto. Se refiere a la regularidad de manifestación del efecto.	1	Irregular	El efecto se manifiesta de forma impredecible
		2	Periódica	El efecto se manifiesta de manera cíclica o recurrente
		4	Continua	El efecto se manifiesta constante en el tiempo.

Nota: Modificado de (Conesa, 2010)

Con todos los valores ingresados en la matriz, se calculó la importancia ambiental (IA) de cada impacto, de acuerdo a la ecuación 3, donde todos los ítems de la ecuación se encuentran detallados en la Tabla 31.

$$IA = \pm[3(I) + 2(EX) + SI + PE + EF + MO + AC + MC + RV + PR] \quad (3)$$

Se realizó una matriz de importancia ambiental por cada acción para las diferentes fases del proyecto como se observa en el capítulo de Anexos.

Las matrices de importancia ambiental se agruparon por cada fase para generar una matriz sumatoria, la cual resultó del promedio del valor de importancia ambiental.

Los resultados de la matriz sumatoria permitieron categorizar a los impactos, según los rangos que se visualiza en la Tabla 32.

Tabla 32

Categorías de Impacto Ambiental

Simbología	Categoría	Rango de importancia
CO	Compatible	IA≤25
M	Moderado	25>IA≤50
S	Severo	50>IA≤75
C	Critico	IA>75

Nota: Recuperado de (Conesa, 2010)

Capítulo VI

Resultados

Descritas las características de las obras de mitigación y de los componentes que se encuentran dentro del área de influencia indirecta, se contó con información base para detallar las actividades e impactos (positivos o negativos) que se generarán con la puesta en marcha de los proyectos. A partir de toda esta información se obtuvo los resultados usando la evaluación multicriterio y la matriz de importancia ambiental.

Evaluación Multicriterio (EMC)

El análisis de los componentes físico, biótico y social, se presentarán en conjunto para la zona norte y sur, de acuerdo la metodología propuesta.

En el resultado de la EMC, la variable distancia fue significativa para cada componente, ya que sí los atributos se encuentran cerca de las presas, tendrán mayor impacto, a comparación de otros atributos susceptibles, que se encuentren alejadas a las AID, las cuales obtendrán un menor impacto, como se observa en el capítulo de Anexos.

A continuación, se presentarán los mapas de magnitud de impactos ambientales de acuerdo a cada componente junto con su explicación.

Componente Físico

El resultado de la suma lineal ponderada (WLC) de las variables analizadas: suelo, geología, geomorfología, pendiente, hidrografía y distancia, se observa en la Figura 30, donde se visualiza la distribución espacial de los impactos ambientales, siendo negativos para el componente físico.

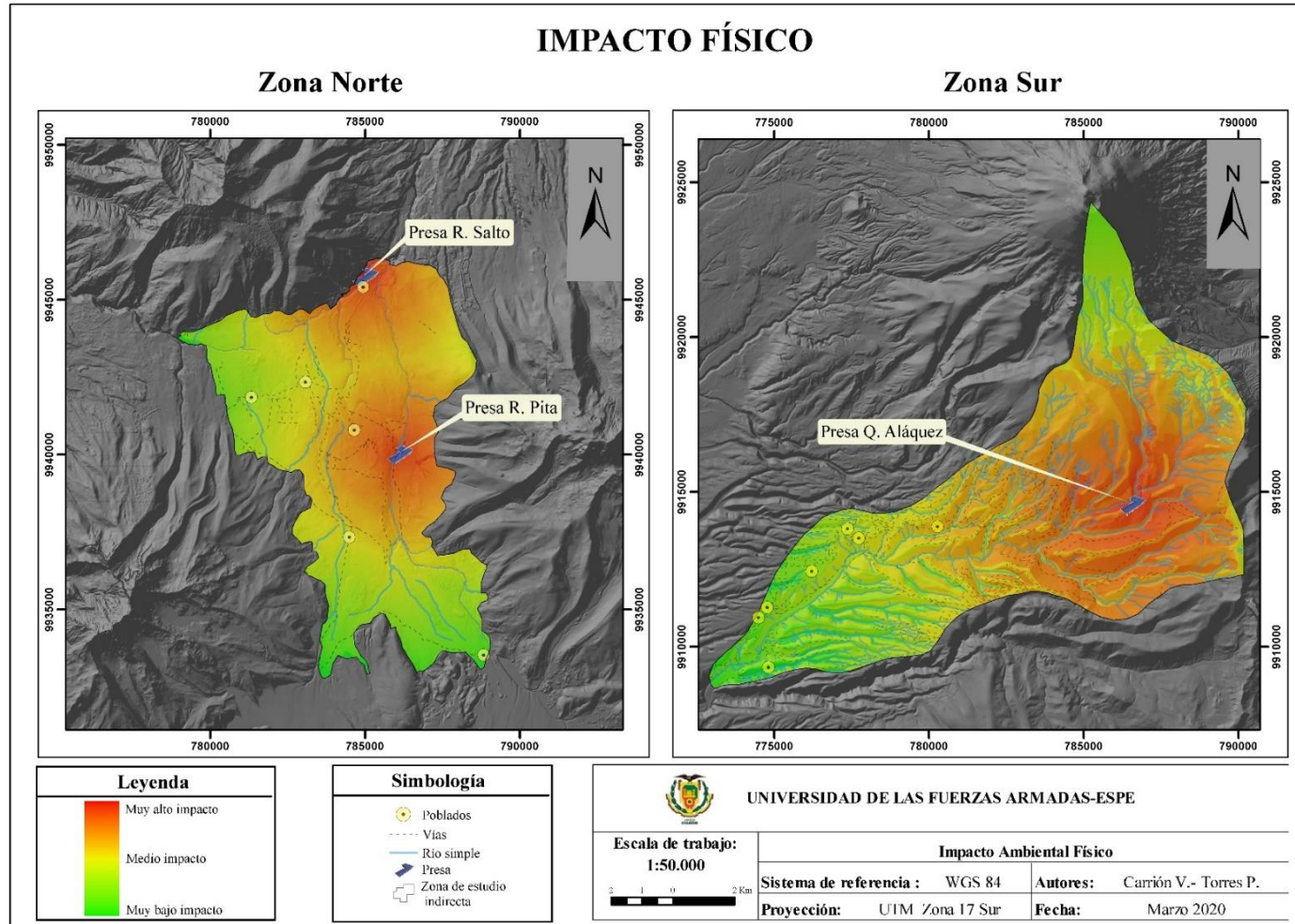
Los lugares de “muy alto impacto” se encuentran cercanas a las construcciones de las presas, representadas con color rojo, a medida que existe mayor distancia a las presas, la magnitud del impacto disminuye, tomando un color de amarillo a verde.

Las actividades en la fase de construcción afectarán a las variables del componente físico de la siguiente manera:

- El suelo tendrá un mayor impacto durante el transporte de maquinarias y material, por posibles derrames de aceites, grasas y lubricantes, además en el desbroce de vegetación, movimientos de tierra, construcción de vías y presas.
- La geología se afectará por la explotación de materiales pétreos, ya que disminuirán las formaciones litológicas del área.
- Dentro de la geomorfología, las laderas serán las más impactadas por las excavaciones, explanaciones y movimientos de tierras, provocando probablemente cambios en las formas del relieve y en la calidad visual del paisaje.
- Las pendientes con un porcentaje alto se verán afectadas en la construcción de las obras civiles, voladuras de relieve, movimientos de tierras y cortes en el terreno.
- En la hidrografía, el impacto se reflejará en la calidad de sus afluentes a causa de los sedimentos que pueden ocasionar las diversas actividades y de manera puntual por el desvío del cauce natural del río, en los sitios de construcción de las presas.

Figura 30

Impacto Ambiental en el Componente Físico



Componente Biótico

En la Figura 31 se observa el resultado de la WLC de las variables: flora, fauna y distancia, donde se observa la distribución espacial de los impactos negativos para el componente biótico.

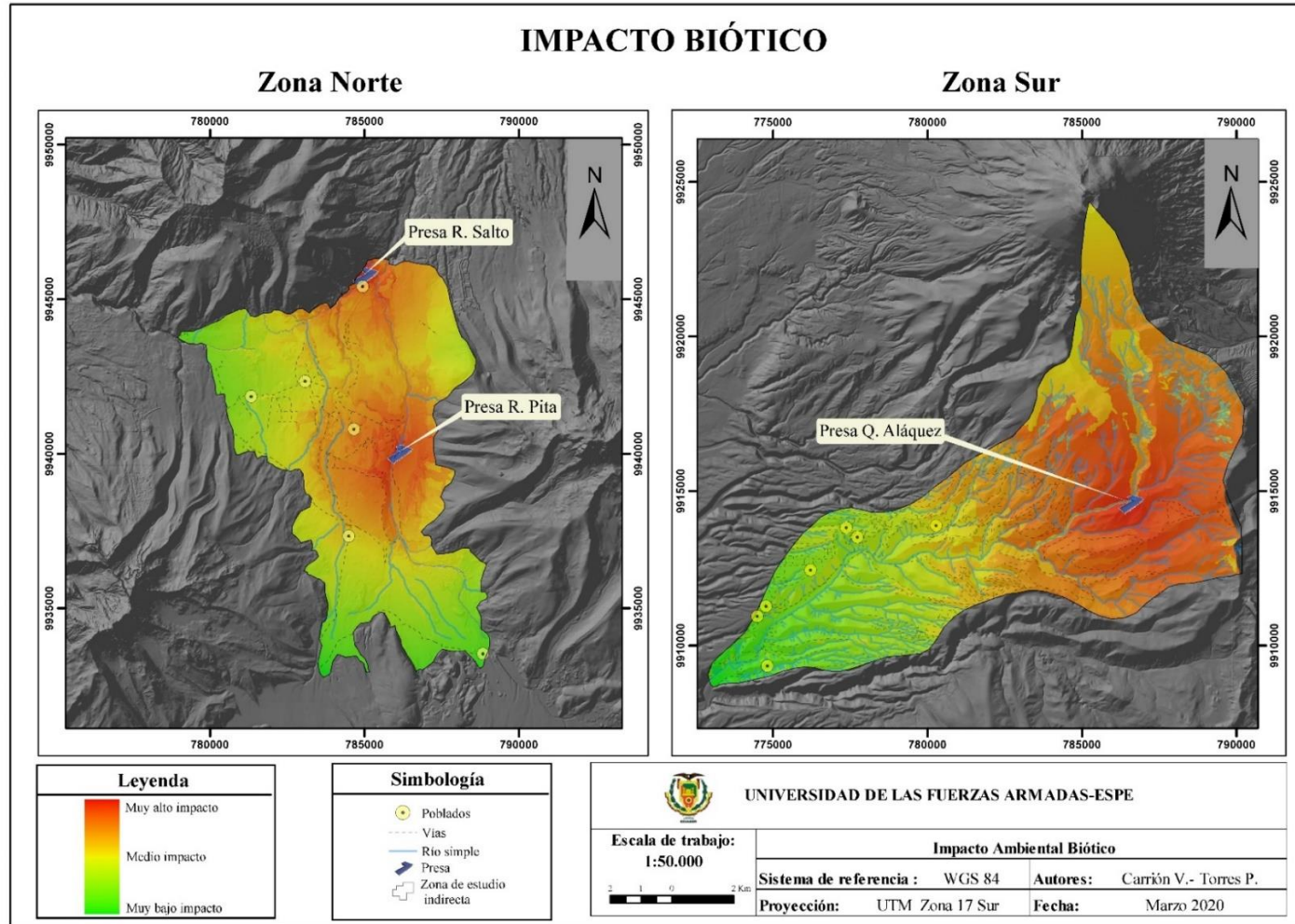
A comparación del componente físico, las zonas de mayor impacto (color rojizo) abarcan mayor distancia desde las presas, esto quiere decir que a pesar que existen lugares relativamente lejanos a las presas, se verán afectadas por la construcción de estas obras, este comportamiento se debe al gran espacio de movilidad que poseen los animales.

La fase de construcción incidirá en las variables del componente biótico de la siguiente manera:

- La cobertura vegetal al contar con dos atributos susceptibles (páramos y plantaciones forestales) se ven perjudicados con actividades como: desbroce y limpieza de vegetación, construcciones de vías, presas y explanación de tierras, provocando que exista pérdida y alteración de esta variable.
- La fauna es una variable sensible ante los ruidos que puedan generar las diferentes actividades en esta fase, provocando la migración de las especies hacia otros lugares a consecuencia de la perturbación de su hábitat.

Figura 31

Impacto Ambiental en el Componente Biótico



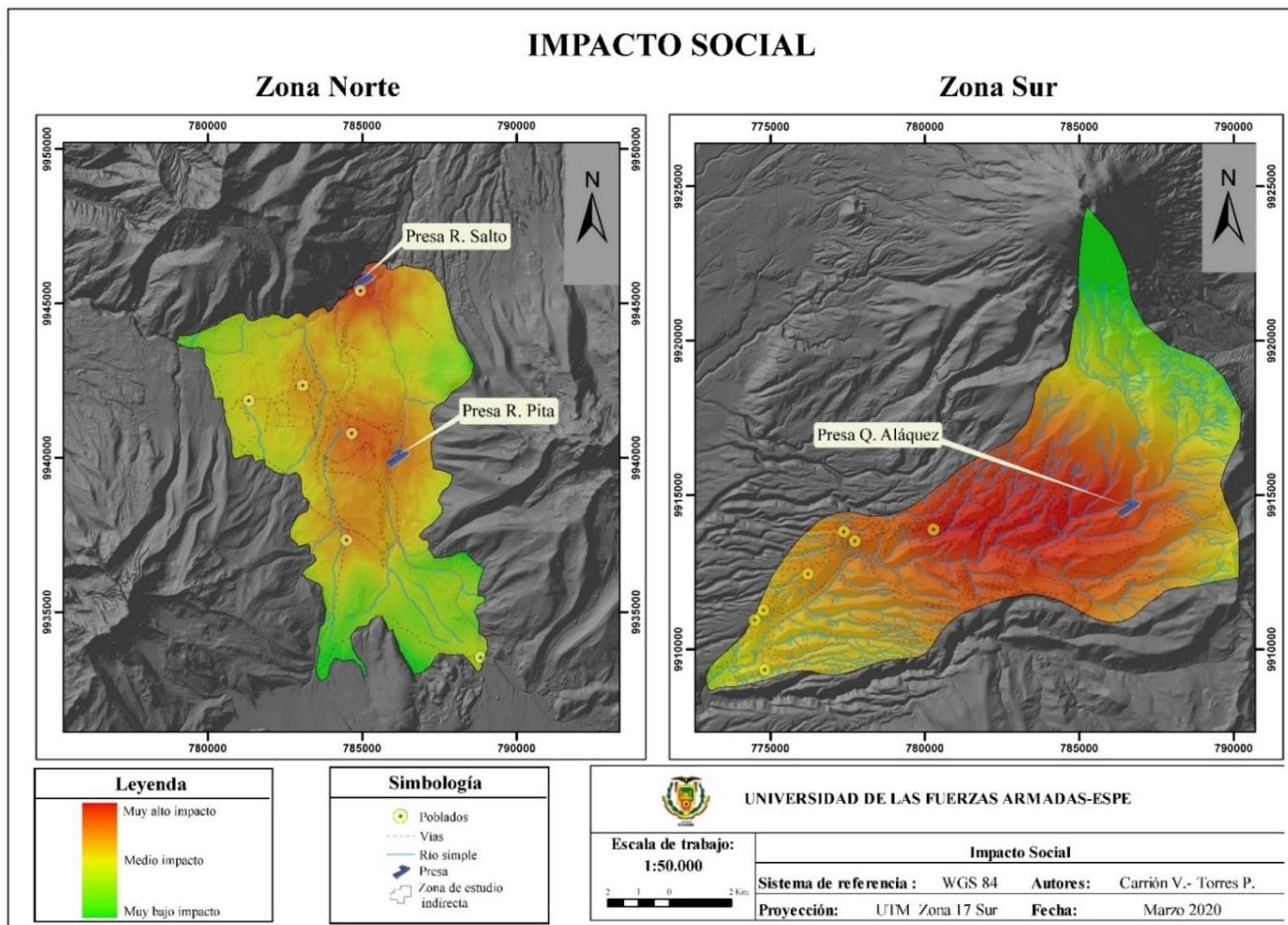
Componente Social

La representación espacial de los impactos, en este caso positivos para el componente social, se observa en la Figura 32, siendo el resultado de la suma lineal ponderada de las variables: poblados, vías y distancia.

En el componente social el carácter del impacto cambia a comparación del componente físico y biótico ya que los poblados más cercanos se beneficiarán con oportunidades laborales y las vías de comunicación se mejorarán y ampliarán favoreciendo a las comunidades aledañas. Es por ello que a medida que los centros poblados se encuentren más cercanos a las presas, influirán para que estas áreas se tiñan de color rojizo, equivalente a un mayor impacto positivo.

Figura 32

Impacto Ambiental en el Componente Social



Matriz de Importancia Ambiental (MIA)

Según la metodología de MIA, se obtuvo la matriz sumatoria donde se clasifican los valores de cada impacto según la categoría correspondiente mencionada anteriormente en la Tabla 32. Se obtuvo 2 categorías: compatible (habitualmente afectaciones al entorno con intensidad baja de tipo puntual y reversibles a corto plazo) y moderado (generalmente son afectaciones reversibles y recuperables a mediano plazo y con media o alta intensidad), para las 3 fases en cada uno de los componentes. Se presentarán las matrices teniendo en cuenta que serán las mismas para la zona norte y sur, ya que se realizarán las mismas actividades y tendrán impactos semejantes.

Fase de Construcción

Componente Físico.

Tabla 33

Matriz Sumatoria del Componente Físico en la Etapa de Construcción

Fase de Construcción		
Componente	Impactos	IA
FÍSICO	Cambio en la dinámica de la erosión del suelo	-34,00
	Alteración de la calidad del agua por incremento de sedimentos	-31,25
	Alteración del relieve local	-28,75
	Alteración de la calidad del aire por generación de material particulado	-27,38
	Incremento en los niveles de ruido	-27,38
	Incremento de vibraciones	-27,38
	Alteración de la calidad visual del paisaje	-25,00
	Cambio de uso de suelo	-24,00
	Cambio en el caudal del curso de agua	-10,88
	Total Promediado	

En la Tabla 33 se observa que 7 de los 9 impactos de la fase de construcción pertenecen a la categoría moderado (amarillo) y los 2 restantes pertenecen a compatibles (verde).

En la categoría compatible los impactos negativos que estuvieron en esta clasificación fueron: cambio en el uso de suelo y cambio en el caudal del curso del agua con -24,00 y -10,88 unidades ambientales respectivamente, a causa de las diferentes actividades que afectan de manera localizada el área de influencia.

Para la categoría moderado, los dos impactos con mayor alteración negativa fueron: cambio en la dinámica de la erosión del suelo y la alteración de la calidad del agua por incremento de sedimentos con -34,00 y -31,25 unidades ambientales respectivamente, debido a las actividades como: desbroce - limpieza de vegetación, excavación, explanación, movimientos de tierras, construcción de carreteras y presas, entre otras.

El valor de importancia ambiental total para la fase de construcción en el componente físico fue de -26.22 unidades ambientales, perteneciendo a la categoría moderado toda la fase.

Componente Biótico.

Tabla 34

Matriz Sumatoria del Componente Biótico en la Fase de Construcción

Fase de Construcción		
Componente	Impactos	IA
BIÓTICO	Pérdida de cobertura vegetal	-32,00
	Perturbación de la fauna silvestre	-28,13

Fase de Construcción		
Componente	Impactos	IA
	Alteración de la flora por presencia de material particulado	-27,13
	Pérdida de hábitat para la fauna	-26,00
	Recuperación de la cobertura vegetal	0,00
	Total Promediado	-28,31

En la Tabla 34 se clasifican los valores de cada impacto según la categoría correspondiente, resultando todos los impactos dentro del rango moderado.

La recuperación de la cobertura vegetal no pertenece a esta fase, ya que no existirá la rehabilitación del área impactada en esta fase, es por ello que su valor es cero y se la excluyó para obtener el valor final del componente.

El impacto que tuvo mayor valor en esta clasificación fue la pérdida de cobertura vegetal con -32,00 unidades ambientales y el promedio general para todo el componente fue de -28,31 unidades ambientales, a causa del desbroce - limpieza de vegetación, construcción de presas y carreteras, remoción de tierras, entre otras, que afectan directamente a este componente.

Componente Social.

Tabla 35

Matriz Sumatoria del Componente Social en la Fase de Construcción

Fase de Construcción		
Componente	Impactos	IA
SOCIAL	Oportunidad de generación de empleo local	37,63
	Cambio en las actividades económicas	37,13

Fase de Construcción		
Componente	Impactos	IA
	Expectativas de inversión social	33,38
	Total Promediado	36,04

En la Tabla 35 se presenta el resultado de los valores de cada impacto, donde todo el componente social se encuentra dentro de la categoría moderado, pero de signo positivo.

El impacto que tuvo el mayor valor en esta clasificación fue la oportunidad de generación de empleo local con 37,63 unidades ambientales, y el promedio general para todo el componente fue de 36,04 unidades ambientales. Estos resultados muestran el impacto favorable hacia los poblados cercanos, ya que sus habitantes podrán participar en las diversas actividades de la fase de construcción como empleo, capacitaciones, participación social, entre otras.

Fase de Operación

Componente Físico.

Tabla 36

Matriz Sumatoria del Componente Físico en la Fase de Operación

Fase de Operación		
Componente	Impactos	IA
FÍSICO	Cambio en la dinámica de la erosión del suelo	-19,33
	Alteración de la calidad del agua por incremento de sedimentos	-18,67
	Alteración de la calidad visual del paisaje	-18,33
	Alteración de la calidad del aire por generación de material particulado	-15,33

Fase de Operación		
Componente	Impactos	IA
	Incremento en los niveles de ruido	-14,00
	Incremento de vibraciones	-14,00
	Alteración del relieve local	0,00
	Cambio de uso de suelo	0,00
	Cambio en el caudal del curso de agua	0,00
	Total Promediado	-26,22

En la Tabla 36 se presenta los resultados de la matriz sumatoria del componente físico para la fase de operación, donde todos los impactos pertenecen a la categoría compatible según la clasificación propuesta anteriormente.

Ya que solo se realizará mantenimiento de vías y presa en esta fase, la alteración del relieve local, cambio en el caudal del curso de agua y cambio de uso de suelo, no pertenecen a esta etapa, siendo su valor cero y excluyéndolas para obtener el valor final del componente.

El impacto que tuvo el mayor valor en esta clasificación fue el cambio en la dinámica de la erosión del suelo con -19,33 unidades ambientales, y el promedio general para todo el componente social fue de -16,61 unidades ambientales, a causa de actividades como: presencia de la presa y mantenimiento de vías y presas.

Componente Biótico.**Tabla 37**

Matriz Sumatoria del Componente Biótico en la Fase de Operación

Fase de Operación		
Componente	Impactos	IA
BIÓTICO	Perturbación de la fauna silvestre	-29,67
	Pérdida de hábitat para la fauna	-19,33
	Pérdida de cobertura vegetal	-16,33
	Alteración de la flora por presencia de material particulado	-15,67
	Recuperación de la cobertura vegetal	11,33
Total Promediado		-13,93

En la Tabla 37 se obtuvo como resultado las categorías: compatible (verde) y moderado (amarillo) de los impactos pertenecientes al componente biótico en la fase de operación.

La perturbación de la fauna silvestre fue el impacto que obtuvo el único valor dentro de la clasificación moderado con -29,67 unidades ambientales, ya que ciertas actividades provocan una serie de ruidos, que al igual que en la fase de construcción, provocarán que las especies se dirijan a otros lugares.

La recuperación de la cobertura vegetal, obtuvo un valor positivo dentro de la clasificación compatible con 11,33 unidades ambientales, ya que la naturaleza por su cuenta podrá recobrar su estado puro.

El impacto negativo que obtuvo el mayor valor en la clasificación compatible fue la pérdida de hábitat para la fauna con -19,33 unidades ambientales y el promedio general para todo el componente fue de -13,93 unidades ambientales.

Componente Social.

Tabla 38

Matriz Sumatoria del Componente Social en la Fase de Operación

Componente	Fase de Operación	
	Impactos	IA
SOCIAL	Oportunidad de generación de empleo local	28,33
	Cambio en las actividades económicas	28,33
	Expectativas de inversión social	28,33
Total Promediado		28,33

Todos los impactos del componente social en la fase de operación pertenecen a la categoría moderado, como se observa en la Tabla 38.

En esta fase todos los impactos tienen el valor de 28,33 unidades ambientales, ya que estas acciones se van a realizar de forma periódica, generando nuevas oportunidades laborales para las poblaciones aledañas al sitio.

Fase de Abandono**Componente Físico.****Tabla 39***Matriz Sumatoria del Componente Físico en la Fase de Abandono*

Fase de Abandono		
Componente	Impactos	IA
FÍSICO	Cambio en la dinámica de la erosión del suelo	-37,33
	Alteración de la calidad del agua por incremento de sedimentos	-32,00
	Alteración de la calidad del aire por generación de material particulado	-31,67
	Incremento en los niveles de ruido	-18,67
	Incremento de vibraciones	-18,67
	Cambio en el caudal del curso de agua	0,00
	Alteración del relieve local	0,33
	Alteración de la calidad visual del paisaje	11,33
	Cambio de uso de suelo	12,00
	Total Promediado	-14,33

En la Tabla 39 se visualiza los resultados de la valoración de los impactos pertenecientes al componente físico en la etapa de abandono donde se obtuvo las categorías: compatible (verde) y moderado (amarillo).

Dentro de la categoría moderado, el impacto que obtuvo mayor valor negativo fue el cambio en la dinámica de la erosión del suelo con -37,33 unidades ambientales.

El incremento en los niveles de ruido e incremento de vibraciones, obtuvieron el mismo valor negativo de -18,67 unidades ambientales, perteneciendo al rango

compatible, ya que durante el desmontaje de las instalaciones civiles se producirán estos impactos.

A esta fase no pertenece el cambio en el caudal del curso de agua, ya que no existirá el desvío del cauce natural, es por ello que su valor es cero y se la excluyó para obtener el valor final del componente.

El cambio de uso de suelo obtuvo el mayor valor positivo dentro de la clasificación compatible con 12 unidades ambientales, debido al desmontaje de instalaciones y rehabilitación de áreas.

El valor total del componente físico para la etapa de abandono fue de -14,33 unidades ambientales, perteneciendo a la categoría de compatible.

Componente Biótico.

Tabla 40

Matriz Sumatoria del Componente Biótico en la Fase de Abandono

Fase de Abandono		
Componente	Impactos	IA
BIÓTICO	Alteración de la flora por presencia de material particulado	-26,00
	Perturbación de la fauna silvestre	-25,67
	Pérdida de cobertura vegetal	-10,67
	Pérdida de hábitat para la fauna	-8,67
	Recuperación de la cobertura vegetal	11,33
Total Promediado		-11,93

Los resultados de la matriz sumatoria se observan en la Tabla 40 donde existen las categorías: compatible (verde) y moderado (amarillo).

La alteración de la flora por presencia de material particulado fue la que obtuvo el mayor valor para la clasificación moderado con -26 unidades ambientales, a causa de la generación de desechos sólidos y desmontaje de instalaciones civiles.

La recuperación de la cobertura vegetal obtuvo un valor positivo dentro de la clasificación compatible con 11,33 unidades ambientales, gracias a la rehabilitación de las áreas inundadas.

El impacto que tuvo el mayor valor negativo en la clasificación compatible fue la pérdida de cobertura vegetal con -10,67 unidades ambientales. El promedio en el componente fue de -11,93 unidades ambientales, a causa de las diferentes actividades como: desmontaje de obras civiles y generación de desechos sólidos.

Componente Social.

Tabla 41

Matriz Sumatoria del Componente Social en la Fase de Abandono

FASE DE ABANDONO		
Componente	Impactos	IA
SOCIAL	Oportunidad de generación de empleo local	30,67
	Cambio en las actividades económicas	30,67
	Expectativas de inversión social	28,67
Total Promediado		30,00

Las cifras de cada impacto según las categorías anteriormente mencionadas clasifican a todos los valores en el rango moderado como se observa en la Tabla 41.

Los impactos con mayor valor positivo fueron: oportunidad de generación de empleo local y cambio en las actividades económicas con 30,67 unidades ambientales, y el promedio general para todo el componente es de 30,00 unidades ambientales, ya que estas acciones van a generar oportunidades laborables.

Capítulo VII

Estrategias Ambientales

A partir de la identificación de los impactos ambientales y la evaluación de estos, se procede a establecer las estrategias ambientales que permitirán prevenir, minimizar y mitigar los impactos que afecten al medio ambiente, y potenciar los impactos positivos que se generarán con la ejecución del proyecto. Estos lineamientos están orientados a mejorar las condiciones preoperacionales del entorno, aun cuando no tengan relación directa con el proyecto de referencia.

A continuación, se enlista las estrategias ambientales relevantes:

- En la construcción de la obra, minimizar en lo posible el tiempo de permanencia de los trabajadores, de igual manera el ruido generado por fuentes móviles.
- Extraer la materia prima sustentablemente, tomando en cuenta la mínima contaminación causada al aire, agua y suelo.
- Compensar la relación corte-relleno para reducir la salida de material sobrante y la entrada de nuevo material.
- Utilizar materiales y mano de obra de la zona, disminuyendo el impacto ambiental que ocasiona el transporte de estos y de esta forma beneficiar a la economía local, dotándoles de trabajo durante las tres etapas del proyecto.
- Utilizar materiales de bajo consumo de agua y baja contaminación, ya que el agua utilizada en construcción usualmente se contamina con metales pesados, sedimentos, entre otros y constituyen un riesgo a la naturaleza si no se toman medidas correctoras.

- Realizar un inventario de especies faunísticas y florísticas antes de la remoción de la cobertura vegetal para tener conocimiento de las especies a reingresar al ecosistema después de la fase de construcción.
- Implementar medidas acordes para el desbroce de vegetación y desgaste del suelo, enfocadas en evitar la erosión del suelo, arrastre de sedimentos por efecto de la escorrentía, emisión de material particulado, perturbación a la fauna, entre otras.
- Para la construcción de vías, minimizar los efectos de la erosión, realizando obras geotécnicas para impedir el consecuente arrastre de materiales pendiente abajo.
- Implementar medidas de protección correspondiente para el páramo, orientadas a evitar daños en la biomasa, o en caso de ser afectadas, reforestar las zonas destruidas con vegetación nativa del lugar.
- Efectuar pasos alternativos que actúen como corredores biológicos para la libre circulación de especies, en las zonas de estudio.
- Capacitar a todo el personal implicados en las diversas actividades en temas de manejo de herramientas, seguridad, uso de maquinarias entre otras.
- Realizar mantenimientos preventivos y correctivos de vehículos, equipos y maquinaria en zonas adecuadas, que restrinjan los impactos por derrame de lubricantes y combustibles.
- Vigilar cada cierto tiempo el funcionamiento adecuado de la presa y remediar algún impacto que se detecte.

Capítulo VIII

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- El diseño de las obras de retención de lahares aprovecha los materiales de las zonas de implantación ya que se diseñaron presas mixtas que están compuestas por materiales sueltos y hormigón.
- La zona norte se encuentra principalmente rodeada de vegetación herbácea, con pendientes suaves y muy suaves en su gran mayoría, principalmente se localiza sobre un suelo de tipo inceptisol y su geomorfología pertenece a tipo volcánico en un 95 %.
- La zona sur pertenece a la cuenca del río Barrancas totalmente, donde una gran parte la constituye la cobertura de páramo y vegetación herbácea, presenta suelos de tipo andisoles (43,69%), su geomorfología se encuentra rodeada en su mayoría por laderas con una pendiente fuerte.
- La idoneidad de hábitat para las especies faunísticas tanto para la zona norte y sur, van desde 0,4 hasta 0,7 aproximadamente, reflejando el flujo de las especies por estas áreas.
- La principal rama de actividad económica a la que pertenece la población dentro de las zonas de estudio es la agricultura y ganadería. Ambas zonas se encuentran en el área rural, donde aproximadamente más del 90% se autodenominan mestizos.
- En las investigaciones acerca del diseño de las obras de mitigación de lahares del volcán Cotopaxi tanto para la zona norte y sur, no se especifica a detalle las actividades que se realizarán en las fases del proyecto, por lo cual

se obtuvo esta información de otras fuentes bibliográficas con proyectos relacionados a la construcción de presas, con ello se logró identificar un cierto número de impactos (16 para la fase de construcción, 14 para la fase de operación y 17 para la fase de abandono).

- La evaluación multicriterio permite considerar varios tipos de variables de distintas dimensiones, que posteriormente al ser normalizarlas, brinda la facilidad de un análisis global para obtener las áreas que se verán mayormente impactadas.
- Al ocupar la evaluación multicriterio y el análisis jerárquico de Saaty, se intentó disminuir la subjetividad en las soluciones, ya que estas técnicas se caracterizan por dar la importancia o el peso en base a las características propias de cada variable.
- De acuerdo a los resultados obtenidos se puede notar la importancia de las variables de proximidad (distancia a: las presas, ríos y centros poblados) puesto que las áreas de mayor impacto se encuentran cerca a estas variables.
- A pesar de que la información se encuentra a una pequeña escala, la cartografía de la magnitud de impactos ambientales refleja una buena estimación de los lugares más propensos a impactarse, y de esta forma reducir costos cuando se realicen visitas de campo.
- Con la evaluación multicriterio se pudo definir que los impactos para los componentes físico y biótico serán negativos, ya que se alterará su entorno natural con las actividades para la construcción de la presa, por su parte para

el componente social el impacto será positivo pues se dotará de empleo a las poblaciones aledañas, incrementando su nivel socioeconómico.

- La matriz de importancia ambiental indica la categoría a la que pertenece cada impacto, pero lo analiza de manera general para toda el área de influencia indirecta, es así que esta metodología complementa a la técnica geoespacial para cuantificar los impactos.
- Las estrategias ambientales permitirán mitigar los impactos negativos y maximizar los positivos para que exista un equilibrio entre las relaciones de causa-efecto entre el proyecto y el medio afectado.
- La cartografía de la magnitud de impactos ambientales ayudará a las estrategias ambientales para que se realicen de manera específica en ciertas áreas donde los impactos son mayores, y así evitando generalizar para toda el área de estudio.

Recomendaciones

- Obtener información con un mayor nivel de detalle, es decir, a una escala grande, ya que los resultados se representarán con mayor confianza.
- Como complemento se puede incluir más variables en el análisis multicriterio como: uso de suelo, calidad de aire y agua, deslizamientos, densidad poblacional, entre otros.
- Para elevar el juicio cuando se asigne las ponderaciones a las variables, se recomienda primero realizar la matriz de importancia ambiental para tener en cuenta las variables afectadas, y realizar consultas con expertos.
- Realizar inventarios georreferenciados de flora y fauna en las zonas de estudio antes y después de la construcción de la presa.

- Una vez realizado el análisis con la evaluación multicriterio se recomienda realizar visitas de campo a los lugares de mayor impacto para establecer las estrategias ambientales adecuadas.
- Para que muchas de las estrategias ambientales sean eficaces, deberán ser aplicadas en simultáneo con la ejecución de la obra o en su defecto inmediatamente a su finalización.

Referencias

- Aguas, C. (2017). *Caracterización geológica del depósito lahárico de 4500 años a.p. del volcán Cotopaxi: zona sur del cantón Rumiñahui*. Universidad Central del Ecuador.
- Aguilera, E. (2004). Risk from Lahars in the Northern Valleys of Cotopaxi Volcano (Ecuador). *Natural Hazards* 33, 161–189.
- Aguilera, Eduardo, & Toulkeridis, T. (2005). *El Volcán Cotopaxi, una amenaza que acecha*.
- Aguilera, R. (2010). *Estudio de impacto ambiental preliminar para la construcción y operación del proyecto hidroeléctrico Chinambí*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Albuja, L., Armendáriz, A., Barriga, R., Montalvo, L., Cáceres, F., & Román, J. (2012). *Fauna de vertebrados del Ecuador*.
- Amigo, Á., Silva, C., & Saavedra, C. (2014, April). Análisis de Mitigación Estructural de Lahares en el Poblado de Melipeuco, Derivados del Volcán Llaima – Chile, Valor de la Ciencia Mapuche, de la Observación Permanente. *Revista Ingeniería de Obras Civiles*, 29–47.
<http://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/article/view/1985%0A>
- Arias, C. (2014). *Evaluación de impacto ambiental y su incidencia en los efectos del componente agroproductivo del P.D.A. UNOCANT*. Universidad Técnica de Ambato.
- Barredo, J., & Bosque, J. (1999). Multicriteria evaluation methods for ordinal data in a GIS environment. *Geographical Systems*, 313–327.
- BioWeb. (2019). *BioWeb-Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. <https://bioweb.bio/>
- Bonito, M., & Naranjo, M. (2016). *Diseño de obras de protección ante el flujo de los lahares del volcán Cotopaxi para la cuenca norte*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Charro, C., & Valencia, V. (2007). *Modelo Tridimensional de la historia geológica del volcán Cotopaxi*. Escuela Politécnica Nacional.
- CIGB-ICOLD, C. internationale des grands barrages international on large dams. (2007). *Las presas & el agua en el mundo*.
- Coburn, A., Spence, R., & Pomonis, A. (1991). *Mitigación de desastres*. Programa de Entrenamiento para el manejo de desastres.
- Conesa, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (Mundi-Pren).
- Consorcio Tracasa/Nipsa. (2015). *Manual de Identificación de Geoformas*.
- Da Silva, C. J., & Daniel Cardozo, O. (2015). Evaluación multicriterio y sistema de información geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en resistencia (Argentina). *Geofocus.Org*. www.geo-

focus.org

- Empresa Eléctrica Quito. (2016). *Estudio de Impacto Ambiental de la Línea de Transmisión La Calera - Nueva Machachi y Subestación Nueva Machachi*.
- Espinosa, M. (2010). *Ingeniería de Presas de Escollera* (Facultad d).
- ESRI. (2014). *ArcGIS Help 10.2 - Bienvenido a la biblioteca de ayuda de ArcGIS*. <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.2/index.html#/00470000003200000>
- Ettinger, S. (2007). The 1877 lahar deposits on the eastern flank of Cotopaxi volcano. *Geomorphologie*, 271–280.
- FAO. (2006). *Sistemas de información geográfica (SIG) en salud animal*. http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/animal/sig/intro/compo.htm
- Flores, P., & Pilataxi, L. (2017). *Diseño de la estructura de hormigón armado para las obras de protección, regulación y control de lahares en las quebradas San Lorenzo y Saquimala en la zona sur occidental del volcán Cotopaxi*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- GAD MEJÍA. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015 - 2025*.
- GAD MULALÓ. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia San Francisco de Mulaló*.
- García, L. (2004). *Aplicación del análisis multicriterio en la evaluación de impactos ambientales*. Polytechnic University of Catalonia. Doctoral Program of Environmental.
- Geotecnia.online. (2019). *Depósitos superficiales*. <https://www.diccionario.geotecnia.online/diccionario/deposito-superficial/>
- Gómez, D. (2012). *Medición de los esfuerzos generados por un flujo de detritos sobre una superficie plana*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Gómez, M., & Barredo, J. (2005). *Sistemas De Información Geográfica Y Evaluación Multicriterio En La Ordenación Del Territorio* (AlfaOmega).
- IEE, I. espacial ecuatoriano. (2013). *Memoria Técnica del Mapa de Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25.000*.
- IGEPN. (2015). *IGEPN*. <https://www.igepn.edu.ec/interactuamos-con-usted/1119-las-erupciones-historicas-del-volcan-cotopaxi>
- IGEPN. (2019). *Instituto Geofísico*. <https://igepn.edu.ec/cotopaxi>
- Inamhi. (2017). *Anuario Meteorológico*.
- INEC. (2010). *Censo de Población y Vivienda*.
- Llinares, M. de los Á., Ortiz, R., & Marrero, J. (2004). *Riesgo Volcánico*.
- MAE, M. del A. (2013). *Modelo de Unidades Geomorfológicas para la representación*

cartográfica de ecosistemas del Ecuador Continental. <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Gobierno> Provincial Azuay/limites GPA/EstudioLimitesAzuayLoja/Geoformas453103936428118386.pdf

- Major, J., Pierson, T., & Vallance, J. (2018). *Lahar-River of Volcanic mud and debris*.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis* (Jonh Wiley).
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2018). *Guía para la identificación y caracterización de impactos ambientales*.
- Moreno, J. (2001). *Proceso Analítico Jerárquico (AHP): Fundamentos Metodología y Aplicaciones*. Universidad de Valencia.
- Mothes, P, Ordoñez, J., Samaniego, P., & Schilling, S. (2013). *Las potenciales zonas de inundación por lahares en el volcán Cotopaxi*.
- Mothes, Patricia. (1992). *Lahars of Cotopaxi Volcano, Ecuador* (McCall GJH).
- Pardo-Casas, F., & Molnar, P. (1987). Relative motion of the Nazca (Farallon) and South American Plates since Late Cretaceous time. *Tectonics*, 6(3), 233–248. <https://doi.org/10.1029/TC006i003p00233>
- Parra, A. (2016). *Zonificación de peligros de flujos de lodo (lahares) asociados al volcán Cotopaxi, cantón Rumiñahui Zona 7*. Universidad Central del Ecuador.
- Pila, G. M. (2011). *Análisis de los parámetros de la demanda hídrica: Casos de estudio cuencas del Pita y San Pedro*. Escuela Politécnica Nacional.
- Pinto, S. (2007). *Valoración de impactos ambientales*.
- Ramírez, M. (2004). *El método de jerarquías analítica de Saaty en la ponderación de variables. Aplicación al nivel de mortalidad y morbilidad en la provincia del Chaco*.
- Ramos, A. (2004). *Metodologías matriciales de evaluación ambiental para países en desarrollo: Matriz de Leopold y método Mel-Enel*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ramos, Amilcar. (2004). *Metodologías matriciales de evaluación ambiental para países en desarrollo: Matriz de Leopold y método Mel-Enel*.
- Retamal, C. (2011). *Identificación y análisis de los impactos generados en el área de influencia directa del embalse Puntilla del Viento en el Valle de Aconcagua*. Universidad de Chile.
- Romero, J. (2016). *Evaluación Multi-Criterio para la ubicación de una escombrera usando SIG - Caso de Estudio Cantón Mejía, Pichincha, Ecuador*. University of Salzburg.
- Salcedo, D., Padilla, O., Morales, B., & Toulkeridis, T. (2017). Evaluación de susceptibilidad a deslizamientos mediante lógica fuzzy y técnicas de evaluación multicriterio en la Avenida Simón Bolívar, Quito. *Revista Geoespacial*, 1–20.
- Sandoval, W. (2016). *Obras de mitigación del flujo de lahares del Volcán Cotopaxi*.
- Sandoval, W. (2018). *Diseño de obras hidráulicas*.

- Senagua. (2009). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador Escala 1:250.000.*
- SIGTIERRAS. (2015). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Escala 1: 25000.* http://www.geoportaligm.gob.ec/proyecto_nacional/
- SIGTIERRAS. (2017). *Memoria explicativa del Mapa de Órdenes de Suelos del Ecuador.*
- Vivar, L. (2019). *Diseño de obras de protección para la quebrada del río Aláquez ante el flujo de los lahares del volcán Cotopaxi.* Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Anexos