



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**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**

**TEMA: “PROPUESTA DE PLAN DE USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO  
EN BASE A LA EVALUACIÓN DE DAÑOS Y PÉRDIDAS POR FLUJO DE  
LAHARES Y FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS EN EL RÍO  
PITA”**

**AUTOR: BUCHELI VALENZUELA, JEREMY ANDRE**

**DIRECTOR: ING. PÉREZ SALAZAR, PABLO ROBERTO**

**SANGOLQUÍ**

**2019**



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, "*PROPUESTA DE PLAN DE USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO EN BASE A LA EVALUACIÓN DE DAÑOS Y PÉRDIDAS POR FLUJO DE LAHARES Y FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS EN EL RÍO PITA*" realizado por el señor Bucheli Valenzuela Jeremy Andre, el mismo que sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar al señor para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 06 de febrero del 2019

Ing. Pablo Roberto Pérez Salazar Msc.

**DIRECTOR**





DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Jeremy Andre Bucheli Valenzuela, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación "*PROPUESTA DE PLAN DE USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO EN BASE A LA EVALUACIÓN DE DAÑOS Y PÉRDIDAS POR FLUJO DE LAHARES Y FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS EN EL RÍO PITA*" es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 06 de febrero del 2019

Jeremy Andre Bucheli Valenzuela

CI: 1719862441





DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIZACIÓN

Yo Jeremy Andre Bucheli Valenzuela, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación "*PROPUESTA DE PLAN DE USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO EN BASE A LA EVALUACIÓN DE DAÑOS Y PÉRDIDAS POR FLUJO DE LAHARES Y FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS EN EL RÍO PITA*" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 06 de febrero del 2019

Jeremy Andre Bucheli Valenzuela

CI: 1719862441



## DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios que me ha traído hasta el final de este ciclo, levantándome, dándome fuerzas y vida para no botar la toalla.

A mi madre que ha estado todos los días brindándome su amor y cariño, demostrándome que si caminas de la mano de dios las cosas no pueden salir mal, a quien he visto quitarse el pan de la boca para darles de comer a sus hijos siempre todo va a ser por y para ella. A mi abuela que aunque vive lejos estuvo pendiente de mí a lo largo de la vida entregando todo de ella. A mi tío Iván que fue el mayor ejemplo de amor desinteresado hacia la familia y sin el cual jamás hubiese soñado estudiar la Universidad.

Finalmente a mi hermano Sebastián que viene detrás de mí, caminando cada paso de la vida a mi lado con tropiezos, caídas pero sobre todo alegrías y que en un futuro cercano va a conseguir culminar esta misma etapa.

**...Jeremy**

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento:

A mi querida ESPE que me ha forjado académicamente, en valores y en carácter por medio de los grandes maestros de los que he aprendido cosas sumamente importantes que aplicaré en el ejercicio de mi vida profesional.

A los GADS de Quito y Rumiñahui así también como al Ingeniero Gustavo Bolaños, por facilitarme información que fue muy útil para la realización de esta investigación.

A mi madre, mi abuela y mi tío Iván por hacer un verdadero esfuerzo para que pueda terminar mis estudios de tercer nivel y por apoyarme siempre a seguir adelante. A mis hermanos Sebas B. y Michael B. y hermana Diana B. por ser esa chispa y alegría que me motiva a esforzarme cada día. A mis primos Marco V. y Santiago V. y mi tía Janneth que a lo largo de estos años fueron como hermanos y una madre para mí y que aunque la distancia nos separe, en los momentos difíciles siempre los sentí cerca. A toda mi familia en general porque aprendí que la familia no es lo más importante, la familia lo es todo.

A Byron G., Eduardo T., Sebastian M y Xavier C. que han sido los amigos de toda la vida y han demostrado todos estos años su lealtad hacia mi persona en cada momento, en las buenas pero mucho más en las malas. A Josue P., Lenin C. y Pablo P. que fueron mis compañeros y amigos durante todos los años de universidad y con los que nos amanezábamos estudiando y dándolo todo por cumplir este sueño.

A Vanessa T. que ha sido una de las partes más importantes de mi camino, siendo un ejemplo de profesional, mi amiga y compañera, gracias por aparecer en el aula de balance, siempre recordaré aquel momento en que empezaste a cambiar mi vida por completo.

Finalmente a todos mis amigos y compañeros que formaron parte de esta etapa, así como a todas las personas que en algún momento estuvieron para impulsarme y no dejarme rendir desde el primer nivel hasta el final nunca olvidaré su presencia en aquellos momentos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DIRECTOR .....	i
AUTORÍA RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
CAPITULO 1 .....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Zona de estudio.....	2
1.4. Justificación e Importancia.....	3
1.5. Objetivos del estudio.....	4
CAPÍTULO 2 .....	6
MARCO TEÓRICO.....	6

2.1. Ordenamiento territorial .....	6
2.2. Hidrometeorología.....	10
2.3. Riesgo volcánico.....	13
2.4. Evaluación económica .....	13
2.5. Modelo digital del terreno. ....	15
2.6. Fundamentación Legal. ....	20
CAPÍTULO 3 .....	22
METODOLOGÍA .....	22
3.1. Recopilación de la información.....	22
3.2. Análisis espacial .....	23
3.3. Valoración predial. ....	26
3.4. Predios afectados por el paso del Lahar y precipitaciones máximas en la zona .....	35
CAPÍTULO 4 .....	38
RESULTADOS .....	38
4.1. Resultados del trabajo:.....	38
4.2. Propuesta de uso y ocupación del suelo. ....	49
CAPITULO 5 .....	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
5.1. Conclusiones.....	63

5.2. Recomendaciones.....	65
5.3. Referencias Bibliográficas.....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1</i> Especificaciones técnicas para el vuelo fotogramétrico .....	24
<i>Tabla 2</i> Tabla de zonificación de predios afectados por el flujo de precipitaciones máximas. ....	39
<i>Tabla 3:</i> Predios afectados total y parcialmente por barrios.....	40
<i>Tabla 4</i> Total de predios afectados por el paso del Lahar y su valor en dólares.....	42
<i>Tabla 5</i> Construcciones afectadas por el paso del Lahar y su valor en dólares.....	42
<i>Tabla 6</i> Tabla de costo de reposición de red vial.....	46
<i>Tabla 7</i> Tabla de costo de reposición de red de agua potable.....	46
<i>Tabla 8</i> Tabla de costo de reposición de red de alcantarillado.....	47
<i>Tabla 9</i> Tabla de costo de reposición de postes de la red eléctrica.....	47
<i>Tabla 10</i> Tabla de costo de reposición de luminarias de la red eléctrica.....	47
<i>Tabla 11</i> Tabla de costo de reposición del cableado de la red eléctrica.....	48
<i>Tabla 12</i> Riesgo por el porcentaje de construcción en la zona.....	48
<i>Tabla 13</i> Escenarios prospectivos para la propuesta de plan de uso y ocupación.....	53
<i>Tabla 14</i> Propuesta de zonificación para la de estudio.....	58
<i>Tabla 15</i> Matriz causa efecto factores-acciones.....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Ubicación de la zona de estudio.....	3
<i>Figura 2:</i> Triangulación de Delaunay.....	17
<i>Figura 3:</i> Representación de la realidad en formato vector.....	18
<i>Figura 4:</i> Representación del formato raster.....	18

<b>Figura 5:</b> Polígonos y líneas montadas consideradas como errores. ....	19
<b>Figura 6:</b> Vecindad IDW de un punto seleccionado.....	20
<b>Figura 7:</b> Diagrama de recopilación de la información .....	23
<b>Figura 8:</b> Diagrama de flujo de modelación en 3D .....	25
<b>Figura 9:</b> Modelamiento en 3D del flujo de lahares del Cotopaxi en la cuenca del Río Pita. ....	25
<b>Figura 10:</b> Reconocimiento de zonas homogéneas. ....	27
<b>Figura 11:</b> Predio identificado en campo.....	27
<b>Figura 12:</b> Plano de uso del suelo.....	28
<b>Figura 13:</b> Selección de los predios en la base de datos.....	29
<b>Figura 14:</b> Raster resultante de la interpolación IDW.....	30
<b>Figura 15:</b> Reclasificación del ráster. ....	31
<b>Figura 16:</b> Conversión de ráster a polígonos. ....	32
<b>Figura 17:</b> Intersect del área de estudio con el polígono de valores. ....	32
<b>Figura 18:</b> Predios con varias zonas valorativas.....	33
<b>Figura 19:</b> Corrección de polígonos de áreas valorativas.....	33
<b>Figura 20:</b> Predios con el valor por m <sup>2</sup> según la zona valorativa en la que se encuentran. ....	34
<b>Figura 21:</b> Error de topología, polígonos montados sobre otros polígonos.....	35
<b>Figura 22:</b> Diagrama de poligonización de raster y selección de predios afectados.....	36
<b>Figura 23:</b> Predios afectados por el paso del Lahar.....	37
<b>Figura 24:</b> Predios afectados por el paso de precipitación máxima. ....	37
<b>Figura 25:</b> Afectación predial por precipitaciones máximas. ....	38
<b>Figura 26:</b> Predios afectados total y parcialmente por el Lahar.....	41
<b>Figura 27:</b> Red vial afectada por el Lahar del Cotopaxi, sector San Luis.....	43
<b>Figura 28:</b> Red de agua potable y alcantarillado afectada por el paso del Lahar del Cotopaxi en el sector de Cashapamba. ....	44
<b>Figura 29:</b> Alta tensión afectada por el lahar, La Colina.....	44
<b>Figura 30:</b> Baja tensión afectada, San Luis. ....	45
<b>Figura 31:</b> Postes y luminarias afectados en el sector La Colina.....	45
<b>Figura 32:</b> Mapa de incidencia del lahar del Cotopaxi. ....	49
<b>Figura 33:</b> Análisis de variables en MICMAC. Obtenido de la versión 6.1.2 .....	50

<b>Figura 34:</b> Matriz de dependencia de variables.....	50
<b>Figura 35:</b> Análisis de dependencia de variables en MICMAC versión 6.1.2. ....	51
<b>Figura 36:</b> Evaluación de la encuesta en el software Smic-Prob-Expert. ....	52
<b>Figura 37:</b> Análisis morfológico de los 3 escenarios. ....	52
<b>Figura 38:</b> Zona 01 de alta densidad constructiva.....	55
<b>Figura 39:</b> Zona 02 de mediana densidad constructiva. ....	56
<b>Figura 40:</b> Zona 03 de baja densidad constructiva.....	57

## **RESUMEN**

Este trabajo presenta la metodología para evaluar y cuantificar el daño y pérdida de bienes inmuebles ocasionado por el flujo de lahares del volcán Cotopaxi y fenómenos hidrometeorológicos y de esta manera generar una contribución a las autoridades encargadas de la propuesta de plan de uso y ocupación del suelo para el ordenamiento territorial en la zona del valle de los chillos que es atravesada por el trayecto del río Pita desde el sector de Santa Teresa de Pintag hasta San Rafael de Sangolquí (El Triángulo) lugar de potencial riesgo ante la eventual erupción del Cotopaxi y donde se desarrollan varias actividades económicas. Para la evaluación, se tomaron en cuenta los catastros de los GAD del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) y Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui (GADMUR), una Ortofoto y modelamientos de flujo del proyecto de titulación del ingeniero Gustavo Bolaños, con los que se procedió a realizar el análisis espacial con un plus de la metodología de valoración del suelo según la Norma Técnica de Valoración del bienio 2018-2019, generando y depurando varios productos mediante herramientas SIG en un software que permitió obtener el cálculo de pérdida total y parcial de bienes inmuebles en el lugar. Finalmente se logra presentar los distintos escenarios (Pesimista, Tendencial y Optimista) de acuerdo a los resultados de la evaluación de daño y pérdida.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **RIESGO**
- **EVALUACIÓN**
- **DAÑO**
- **PÉRDIDA**
- **ORDENAMIENTO TERRITORIAL**

## **ABSTRACT**

This work presents the methodology to evaluate and quantify the damage and loss of real estate caused by the flow of lahars from the Cotopaxi volcano and hydrometeorological phenomena and in this way generate a contribution to the authorities in charge of the proposed land use and occupation plan for the territorial ordering in the area of the valley of los chillos that is crossed by the Pita river route from the sector of Santa Teresa de Pintag to San Rafael de Sangolquí (El Triángulo), a place of potential risk before the eventual eruption of Cotopaxi and where Several economic activities are developed. For the evaluation, the cadastres of the GAD of the Metropolitan District of Quito (DMQ) and the Autonomous Decentralized Municipal Government of Rumiñahui (GADMUR), an Orthophoto and flow modeling of the titration project of the engineer Gustavo Bolaños, were taken into account. We proceeded to perform the spatial analysis with a plus of the soil valuation methodology according to the Technical Standard of Valuation of the year 2018-2019, generating and debugging several products using GIS tools in a software that made it possible to obtain the calculation of total and partial loss of real estate in the place. Finally, it is possible to present the different scenarios (Pessimistic, Tendencial and Optimistic) according to the results of the damage and loss assessment.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **RISK**
- **EVALUATION**
- **HURT**
- **DAMAGE**
- **TERRITORIAL ORDINATION**

## **CAPITULO 1**

### **1.1. Planteamiento del problema**

El Cotopaxi es un volcán activo con un casquete glaciar que alimenta al sistema de los ríos Pita, Cutuchi, Tambo y Tamboyacu. A lo largo de sus varios procesos eruptivos ha afectado a zonas aledañas a lo largo de sus riberas, causando pérdidas humanas, daños en infraestructura y crisis económica (Instituto Geofísico, 2015).

Ante una eventual erupción del volcán Cotopaxi y los posibles escenarios que se pueden presentar a partir del derretimiento del casquete o precipitaciones máximas, con una afectación clara en la cuenca del río Pita según estudios realizados, es menester proporcionar un plan de uso y ocupación de suelo en el que se restructure la admisibilidad de construcción; puesto que existen zonas vulnerables o altamente vulnerables y de alta plusvalía que se verían afectados por los lahares o fenómenos hidrometeorológicos.

### **1.2. Antecedentes.**

La sedimentación en los ríos ocurre cuando ha existido una erosión previa en el suelo, que ocasiona la acumulación de partículas en el fondo de los cuerpos de agua, provocando la disminución del espacio disponible para el almacenamiento de agua que podría traer consecuencias posteriores como inundaciones (González, 2005). Existen algunos factores que afectan a la sedimentación y erosión como el clima, vegetación, hojarasca, tipo de suelo, topografía, velocidad de flujo y el uso de la tierra misma (UNESCO, 2010).

La acumulación de sedimentos es un proceso normal cuando se habla del manejo de una cuenca hidrográfica, lo que llega a provocar que la altura del caudal del río disminuya (Niño, 2005), por lo que este fenómeno genera zonas de inflexión y puntos críticos provocando desbordamientos en la zona y por lo tanto inundaciones debido a precipitaciones máximas y el potencial paso de los lahares del volcán Cotopaxi ante una eventual erupción.

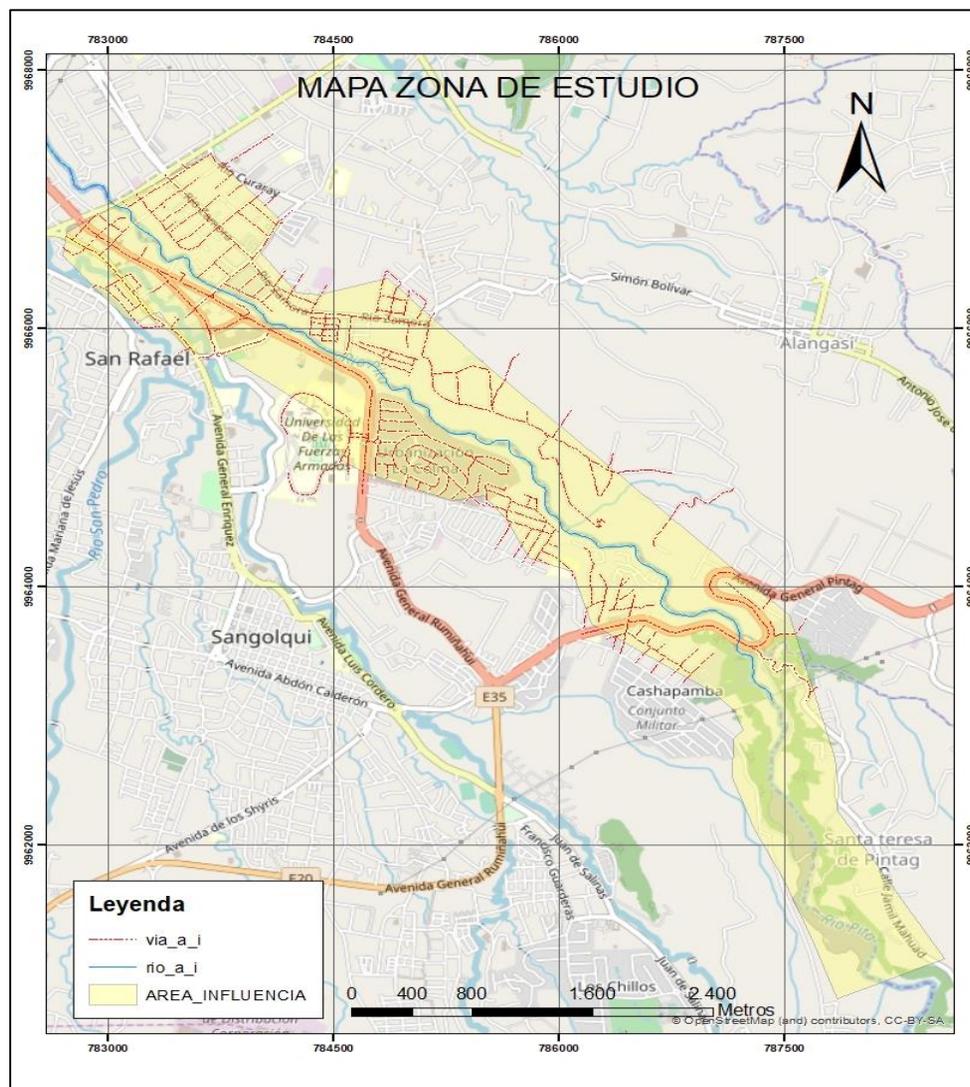
Los tres procesos que involucra la sedimentación son: desprendimiento, transporte y deposición los cuales han ocurrido a lo largo de miles de años pero el desarrollo urbano ha acelerado aún más el proceso (González, 2005).

Además hay que tener en cuenta que procesos eruptivos del volcán Cotopaxi que han ocasionado flujos destructivos por lahares, es así que en 1744 se tiene registro de devastación de molinos en la cuenca del río Pita (Moreira, 2017). En 1877 se pudo detectar que el lahar en el sector del Valle de los Chillos en el río Pita alcanzó una velocidad de 20 a 30 km/h y un volumen de 70 millones de m<sup>3</sup> (Andrade, y otros, 2005).

Al ser los alrededores del río Pita una zona de alta plusvalía si hablamos del sector del valle de los Chillos es importante proponer un plan de uso y ocupación del suelo debido a que un fenómeno como precipitaciones máximas o una eventual erupción del Lahar del Cotopaxi provocarían daños y pérdidas en el sector inmueble, infraestructura y sin duda vidas humanas.

### **1.3. Zona de estudio.**

El proyecto se realiza en la zona de influencia directa comprendida en el tramo desde Santa Teresa de Píntag hasta San Rafael específicamente en el trayecto de la microcuenca del río Pita, con una longitud de 10 km y un área aproximada de trabajo de 7,415,049 m<sup>2</sup>.



**Figura 1:** Ubicación de la zona de estudio.

#### 1.4. Justificación e Importancia.

El modelo de crecimiento urbanístico horizontal en la ciudad de Quito ha incentivado a la población a buscar zonas como el Valle de los Chillos para residencia ocasionando asentamientos visibles en las laderas o cercanías del río Pita (Campaña, 2016). Este hecho origina riesgo ante el latente peligro debido a los lahares producidos al momento que se genere una eventual erupción

volcánica. Fenómenos hidrometeorológicos como precipitaciones máximas, también pueden generar pérdidas y daños inmuebles y de infraestructura en las zonas vulnerables (Carrillo, 2013).

Los moradores ubicados en la cuenca norte del volcán Cotopaxi se ven amenazados por una posible erupción del volcán (Cisneros & Díaz, 2016). De igual manera, las construcciones que se encuentran en las riberas del río no son aconsejables ya que se ubican sobre áreas propensas a inundaciones por diversos factores atmosféricos como lluvias intermitentes o por estar situadas en laderas inestables (Lahsen, 1985). Los daños y pérdidas que se puedan generar deben ser analizados para uso de los propios moradores o del municipio.

Es necesario un estudio que genere datos acerca de los daños y pérdidas ante el posible derretimiento del casquete del Cotopaxi y precipitaciones máximas que se generen en la zona, generar una propuesta de regulación urbana para el uso y ocupación del suelo.

### **1.5. Objetivos del estudio.**

#### **Objetivo General.**

Establecer la propuesta de un plan de uso y ocupación del suelo mediante una previa evaluación de daños y pérdidas de inmuebles e infraestructura por el eventual flujo de lahares y fenómenos hidrometeorológicos que se puedan generar a lo largo de un tramo del río Pita para generar posibles escenarios de solución.

#### **Objetivos específicos.**

- Elaborar un modelo digital del terreno (MDT) para el modelamiento del flujo de lahares y lodos en el río Pita

- Evaluar el daño y pérdida de inmuebles e infraestructura.
- Diseñar posibles escenarios de ordenamiento territorial ante la problemática
- Elaborar la geodatabase a partir de una Ortofoto obtenida con dron en escala 1:500 para generar trabajos a escalas más pequeñas.

### **Metas.**

De acuerdo a los objetivos se realizará:

- Un modelo del flujo de lahares y fenómenos hidrometeorológicos en el río Pita.
- Una geodatabase con al menos 1200 predios evaluados.
- Una matriz causa efecto de posibles escenarios.
- Un catálogo de objetos de la geodatabase.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

Los conceptos necesarios para la elaboración del presente trabajo fueron extraídos de libros y publicaciones para el mejor entendimiento del mismo, citando debidamente la fuente oficial. Pueden existir otros conceptos más generales que no han sido tomados en cuenta por optimizar el tiempo con el que se dispuso para realizar la investigación.

#### **2.1. Ordenamiento territorial**

Hoy en día la falta de planificación del territorio ha provocado que las edificaciones se ubiquen en zonas consideradas de riesgo, como es el caso de las riberas del río Pita que es una zona que podría ser afectada por los lahares del Cotopaxi ante una eventual erupción y también debido a precipitaciones máximas que puedan generarse.

El ordenamiento territorial permite planificar y organizar el uso, ocupación y el aprovechamiento del territorio tomando en cuenta sus potencialidades y limitaciones, así como los requerimientos de la población y recomendaciones que se han generado por los instrumentos de gestión y planificación. Es la base para el desarrollo de los territorios a nivel nacional, regional y local (FAO, 2018).

Es el análisis de las interrelaciones que se dan entre el medio físico y su población que desarrolla actividades económicas y productivas y los medios por los cuales se relacionan (GAD, 2012).

### **2.1.2. Plan de ordenamiento:**

Es un instrumento para planificar el desarrollo que tiene por objeto ordenar y armonizar decisiones estratégicas de crecimiento con respecto a la población, las actividades económico-productivas (uso) y la gestión de los recursos naturales en función de las cualidades que posee el territorio (ocupación) mediante la definición de lineamientos para la obtención de un modelo del territorio a largo plazo establecido por el nivel de gobierno encargado (GAD, 2012).

### **2.1.3. Uso del suelo:**

Es un documento escrito mediante el cual la autoridad competente otorga licencias, o la oficina de planeación da información al interesado sobre el uso o usos permitidos en un predio o edificación, conforme a las normas que se han especificado en el plan de ordenamiento territorial y sus componentes (GAD, 2012).

Mediante este documento se intenta evitar impactos y alteraciones al ecosistema, y procura generar una óptima interacción entre las zonas urbanizables y no urbanizables (DMC, 2016).

### **2.1.4. Niveles de impacto de los usos de suelo:**

#### **Impacto ambiental**

- **Bajo impacto:** actividades que generan un nivel de presión sonora de 50DB de seis a veinte horas y de 40 db de veinte a seis horas. Que generen pequeños volúmenes de desechos sólidos, líquidos o gaseosos (DMC, 2016).

- **Mediano impacto:** Actividades que producen material particulado y contaminantes gaseosos, y que generan 60dB de seis a veinte horas y 50dB de veinte a seis horas (DMC, 2016).
- **Alto impacto y de peligro:** actividades que generan desechos contaminantes y que producen un nivel de presión sonora de 70dB de seis a veinte horas y de 60dB de veinte a seis horas (DMC, 2016).

#### **Impacto urbano:**

- **Bajo impacto:** actividades que generen niveles bajos de demanda en infraestructura, transporte y servicios y que su construcción se pueda adaptar a las características morfológicas del área urbana y a las características tipológicas de la edificación.
- **Mediano impacto:** actividades que generan una demanda de transporte colectivo, instalaciones, servicios especiales y parqueaderos colectivos entre 20 y 40 unidades, cuya construcción pueda adaptarse a las características morfológicas del contexto en el que se desarrolla y a las características tipológicas de la edificación.
- **Alto impacto:** actividades que generan demanda de accesibilidad y transporte colectivo, parqueaderos superiores a las 40 unidades, servicios e instalaciones especiales, cuya construcción se puede integrar solo morfológicamente al contexto urbano.

#### **2.1.5. Clasificación de usos de suelo**

Para clasificar los usos del suelo se asume la conveniencia y necesidad de mixtificar los usos en la estructura urbana, considerando varios factores en función del impacto ambiental y urbano de implantación mediante el sistema de tratamientos urbanísticos y territoriales (DMQ, 2003).

Se derivan en 3 categorías:

- **Principal:** es el uso que predomina y que define cual será el futuro urbanístico de una superficie de reglamentación.
- **Prohibido:** son usos que no son indispensables para el funcionamiento del uso principal y/o que por el impacto pueden producir problemas de coexistencia y por este hecho se prohíben.
- **Condicionado:** son usos que no impactan fuertemente en el funcionamiento del uso principal y por eso se pueden permitir bajo cierta normativa que los regule.

#### **2.1.6. Ocupación del suelo.**

La ocupación del suelo estudia las características que posee la superficie de la tierra mediante de los puntos de vista de uso y cobertura del suelo (IGN, 2008).

Es la distribución del volumen edificable sobre un terreno considerando criterios como altura dimensionamiento y localización de volúmenes, forma de edificación, retiros y otras determinaciones de tipo morfológico. Se determina por los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales y metropolitanos mediante la respectiva normativa urbanística (Asamblea, 2016)

#### **Formas de ocupación.**

- **Aislada:** para edificaciones con retiros en todos sus frentes en zonas residenciales de baja densidad, industriales y agrícolas, asentamientos rurales y en áreas de influencia de preservación del patrimonio.

- **Pareada:** para construcciones con retiro frontal, posterior y un lateral, en zonas urbanas de la ciudad definidos por el tratamiento de conservación.
- **Continua:** para construcciones con retiro frontal y posterior en zonas residenciales de alta y media densidad, y múltiples.
- **Continua sobre línea de fábrica:** para construcciones con retiro posterior en zona residencial de alta densidad, asentamientos rurales y cabeceras parroquiales.
- **Especial:** para construcciones en zonas históricas que deben conservar las tipologías existentes y proyectos especiales en donde la disposición de las manzanas da una multiplicidad de tipologías.

### **Suelo Urbano.**

Es aquel que cuenta o tiene planificado servicios como: red vial, redes de servicio e infraestructura pública y con un ordenamiento urbanístico definido y aprobado por PMOT (Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial) (DMC, 2016).

### **Suelo Rural.**

Es aquel que por su condición ambiental o natural: interés paisajístico histórico natural u especial ó su vocación ganadera, agrícola, forestal o de extracción de recursos naturales, por lo cual no puede ser incluido en la categoría urbana (DMC, 2016).

## **2.2. Hidrometeorología.**

Ciencia que se dedica al estudio del ciclo del agua en el ecosistema y abarca el las fases atmosférica y terrestre del ciclo hidrológico y su interrelación. Comprende la observación, procesamiento y análisis del comportamiento de los elementos hídricos (CRAHI, 2016).

Es la ciencia relacionada directamente con la hidrología, climatología e hidrología y estudia el ciclo del agua en la naturaleza, las fases terrestre (intercepción de lluvia, derretimiento superficial e infiltración) y atmosférica (precipitación evaporación y condensación) del ciclo hidrológico y sus interrelaciones. Comprende observación, procesamiento y análisis del comportamiento de los elementos hídricos, principalmente las descargas de ríos y volúmenes almacenados en embalses artificiales y naturales y los factores meteorológicos (SCRIBD, 2018).

Es el conjunto de varias ciencias como la hidrología, meteorología, climatología, física, química entre otras vinculadas al estudio del agua en el planeta. Su campo de investigación es el ciclo del agua en su parte atmosférica (evaporación, condensación, precipitación, transporte de humedad, etc) como terrestre (intercepción de lluvia, evapotranspiración, escorrentía superficial y subterránea, infiltración, etc) (GRIHM, 2018).

### **2.2.1. Cuerpo de Agua**

El agua es un compuesto con características únicas de gran significación para la vida, el más abundante de la naturaleza y determinante en procesos físicos, químicos y biológicos. Un cuerpo de agua puede ser un lago, un río, un brazo de mar, etc. (García , y otros, 1998).

### **2.2.2. Precipitación.**

El término precipitación abarca las aguas meteorológicas que caen sobre la superficie terrestre, en sus estados líquido y gaseoso (Villodas & Segerer, 2006).

La precipitación es el producto de la condensación del vapor de agua que se deposita en la superficie terrestre y ocurre cuando la atmósfera se satura con el vapor de agua y esta se condensa y cae de la solución (CHCM, 2018).

### **2.2.3. Inundación**

Una inundación es un fenómeno normal de la naturaleza, ocurre cuando una gran cantidad de lluvia cae en un lugar específico en corto tiempo; el agua al no acomodarse en ríos o canales invade áreas adyacentes a estas (González, 2005).

### **2.2.4. Erosión**

La erosión es el arrastre de partículas constituyentes del suelo por la acción del agua en movimiento o la por la acción del viento puede ser por acción antrópica o natural (González, 2005).

### **2.2.5. Sedimentación**

La sedimentación es un proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad (Pérez, 2005).

### **2.2.6. Fenómenos hidrometeorológicos**

Son aquellos que su elemento predominante es el agua, y tienen la capacidad de causar efectos negativos en las esferas social, económica y ambiental, especialmente cuando los mismos se presentan en zonas que se denominan de alto riesgo de impacto y su población es vulnerable (SPC, 2015).

### **2.3. Riesgo volcánico**

La reactivación del volcán Cotopaxi en abril del 2015 ha planteado los posibles escenarios que podrían generarse por sus emisiones, en el presente estudio, la afectación que causaría en un trayecto de la cuenca del río Pita.

El término riesgo se utiliza en general para situaciones que involucran incertidumbre, en el sentido de que el rango de posibles resultados para una determinada acción es en cierta medida significativo (Fiorito, 2006)

#### **2.3.1 Lahar**

Los lahares son flujos que se movilizan ladera abajo por los drenajes de un volcán debido a la acción de la gravedad y consisten de una mezcla de agua (fase líquida) y de materiales volcánicos (fase sólida) como grandes rocas, arena, ceniza e incluso troncos de árboles u otros objetos, arrastrados por el flujo (Ordóñez, Samaniego, Mothes, & Schilling, 2013).

### **2.4. Evaluación económica**

Es un método de análisis que sirve para la toma de decisiones racionales ante una serie de distintas alternativas donde se integran los costes monetarios como los beneficios, expresados en otras unidades que se relacionan con las condiciones de vida de un grupo (Fernandez, Arzadun , & Naiara , 2007).

### **2.4.1. Cuantificación del daño.**

Es el costo económico que se obtiene por la afectación a bienes materiales de viviendas, infraestructura y toda la movilización de maquinaria, equipos y personal que el gobierno otorga para la atención de una emergencia (Solís, 2007).

### **2.4.2. Cuantificación de pérdida.**

Es el costo económico que se obtiene por la destrucción a bienes materiales de viviendas, infraestructura y toda la movilización de maquinaria, equipos y personal que el gobierno otorga para la atención de una emergencia (Solís, 2007).

### **2.4.3. Método de Valoración del Suelo.**

Para realizar el cálculo del avalúo predial se tomarán en como referencia los estudios de valoración que han sido aplicados con el método de comparativo entre valores de oferta y valores de ventas que se realizan dentro del mercado inmobiliario (DMC, 2016).

En sectores en donde no existe o sean de escasa información se pueden aplicar procedimientos técnicos sustentados (DMC, 2016).

El avalúo viene a ser la suma del valor del suelo total corregido por los diferentes factores presentes o variables que predominan en el mismo, más el valor de las edificaciones y adicionales constructivos en el caso de tenerlos (DMC, 2016).

Su expresión matemática es:

$$V_{pu} = V_t + V_c + V_a$$

Donde:

$V_{pu}$  = Valor del predio urbano

$V_t$  = Valor del terreno

$V_c$  = Valor de la construcción (abierta-especial, cubierta y comunales para propiedad horizontal)

$V_a$  = Valor de adicionales constructivos al predio

$$V_{pr} = V_t + V_c + V_a$$

Donde:

$V_{pr}$  = Valor del predio rural

$V_t$  = Valor del terreno

$V_c$  = Valor de la construcción (abierta-especial y cubierta)

$V_a$  = Valor de adicionales constructivos al predio.

## **2.5. Modelo digital del terreno.**

Para comprender mejor la disposición del terreno con herramientas SIG se generan distintos modelos con los que se puede obtener valores del eje vertical de la zona de estudio.

Es un conjunto estructurado de datos numéricos que describe como se distribuye espacialmente una variable del terreno sin tomar en cuenta a los factores antrópicos y la vegetación que está presente en la zona de extracción del mismo (Felicísimo, 1994).

### **2.5.1. Modelo digital de superficie.**

También llamado modelo digital de elevación es una representación matemática y gráfica con respecto al nivel medio del mar que permite caracterizar la forma que tiene el relieve, como los elementos antrópicos que se encuentran en una zona de estudio (INEGI, s.f.).

### **2.5.2. Fotogrametría.**

Según la sociedad americana de fotogrametría y teledetección (ASPRS) es: *“el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos”*.

### **2.5.3. Ortofoto.**

Es el producto de realizar procesos fotogramétricos a imágenes aéreas, para que de este modo cumplan con un conjunto de normas y especificaciones y estén: rectificadas, corregidas radiométricamente, corregidas geométricamente y georreferenciadas (INEGI, s.f.).

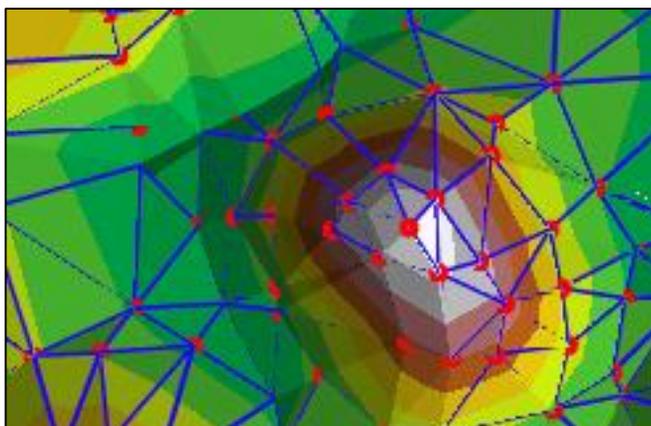
### **2.5.4. Georreferenciación.**

Es asignar una ubicación espacial a entidades cartográficas mediante el uso de coordenadas de mapa. Todos los elementos de una capa de mapa tienen una ubicación geográfica y una extensión específicas que permiten situarlos en la superficie terrestre o próxima a ella (ESRI, s.f.).

### 2.5.5. TIN (Triangular Irregular Network).

Son una forma de datos geográficos en formato digital basados en vectores y que se construyen a partir de una de la triangulación de un grupo de puntos (vértices), los cuales están interconectados a una serie de aristas para formar una red de triángulos (ESRI, s.f.).

El resultado obtenido cumple con el principio de triangulación de Delaunay, que expresa que ningún vértice de otro triángulo debe estar contenido en la circunferencia circunscrita de cada triángulo de la red (ESRI, s.f.).



*Figura 2:* Triangulación de Delaunay.

*Fuente:* (ESRI, s.f.).

### 2.5.6. Datos Vector.

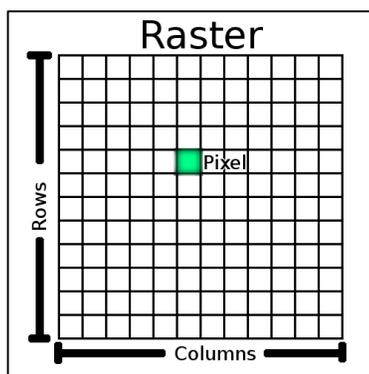
Es una manera de expresar objetos de la realidad dentro de un ambiente SIG, utilizando la geometría de dicho elemento que se compone de uno o más vértices con datos en X, Y, Z; los datos pueden expresarse como puntos, líneas y polígonos (QGIS, Documentación de QGIS 2.8, s.f.).



**Figura 3:** Representación de la realidad en formato vector.  
**Fuente:** (QGIS, Documentación de QGIS 2.8, s.f.).

### 2.5.7. Datos Raster

Son una matriz de celdas o píxeles que contienen un valor que representa las características de la zona que cubre el píxel (QGIS, Documentación de QGIS 2.8, s.f.).

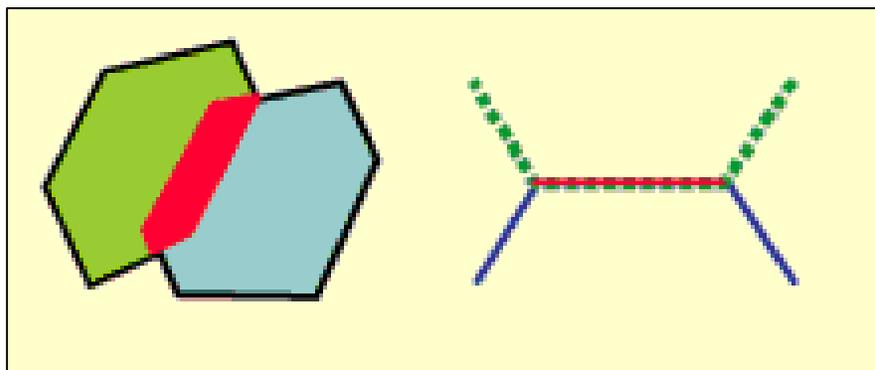


**Figura 4:** Representación del formato raster.  
**Fuente:** (QGIS, Documentación de QGIS 2.8, s.f.).

### 2.5.8. Topología.

En una geodatabase la esta es definida como los puntos, líneas o polígonos que tienen una geometría coincidente en el espacio y mediante un software da la facilidad de detectar los elementos topológicos en las clases de entidad de puntos, líneas y polígonos. Mediante herramientas de

geoprocésamiento se puede generar, analizar, administrar y validar las topologías (Microsoft, 2018).



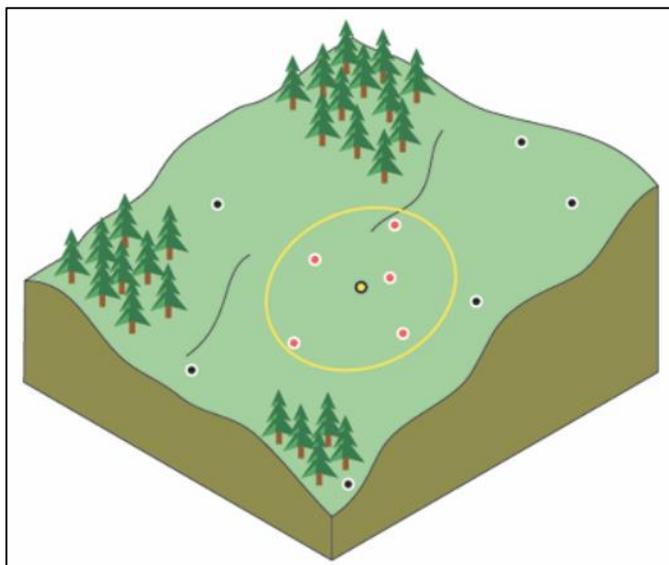
**Figura 5:** Polígonos y líneas montadas consideradas como errores.  
*Fuente:* (Arcgis, 2018)

### **2.5.8. Interpolación.**

A partir de una muestra o una cantidad limitada de puntos la interpolación da la facilidad de predecir valores para las casillas de un ráster. De esta manera se pueden pronosticar valores desconocidos de cualquier dato que tenga una referencia geográfica como: niveles de ruido, niveles de contaminación, elevaciones entre otros (Arcgis, 2018).

### **2.5.9. Interpolación IDW.**

El método del inverso de la distancia ponderada o IDW determina valores de celda para un ráster mediante una combinación ponderada de un grupo de puntos muestreados. El método presupone que la variable representada en la cartografía disminuye su influencia a mayor distancia del punto de muestra.



**Figura 6:** Vecindad IDW de un punto seleccionado  
**Fuente:** (Arcgis, 2018).

## 2.6. Fundamentación Legal.

A continuación, se detalla la base legal sobre las consideraciones que se presentan para el plan de uso y ocupación del suelo.

Según la Constitución del Ecuador artículo 264 numerales 1 y 2 de la Norma Suprema los gobiernos municipales tienen la competencia de planificar el desarrollo cantonal y formular los planes de ordenamiento territorial de tal manera que se articule con la planificación nacional, regional, provincial y parroquial para regular el uso y ocupación del suelo urbano y rural (Asamblea, 2016).

Además según el Código Organico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) los GADM tendrá como uno de sus fines “la obtención de un hábitat seguro y saludable para los ciudadanos y la garantía de su derecho a la vivienda en el ámbito de sus respectivas competencias”. Definiendo como una de sus funciones, el establecer el régimen de uso del suelo

y urbanístico, para lo cual determinará las condiciones de urbanización, parcelación, lotización, división o cualquier otra forma de fraccionamiento de conformidad con la planificación cantonal o metropolitana conforme corresponda, asegurando porcentajes para zonas verdes y áreas comunales e información adicional se encuentra en los Arts. 4, 54, 55, 84, 105, 106, 108, 116, 117.

Por otro lado, en la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial Uso y Gestión del Suelo, en el Registro Oficial, Suplemento 790 de 05 de julio de 2016 se dice que fijar los principios y reglas generales que rigen el ejercicio de las competencias de ordenamiento territorial, uso y gestión del suelo urbano y rural, y su relación con otras que incidan significativamente sobre el territorio o lo ocupen, para que se articulen eficazmente, promuevan el desarrollo equitativo y equilibrado del territorio y propicien el ejercicio del derecho a la ciudad, al hábitat seguro y saludable, a la vivienda adecuada y digna, en cumplimiento de la función social y ambiental de la propiedad e impulsando un desarrollo urbano inclusivo e integrador para el Buen Vivir de las personas.

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Recopilación de la información.

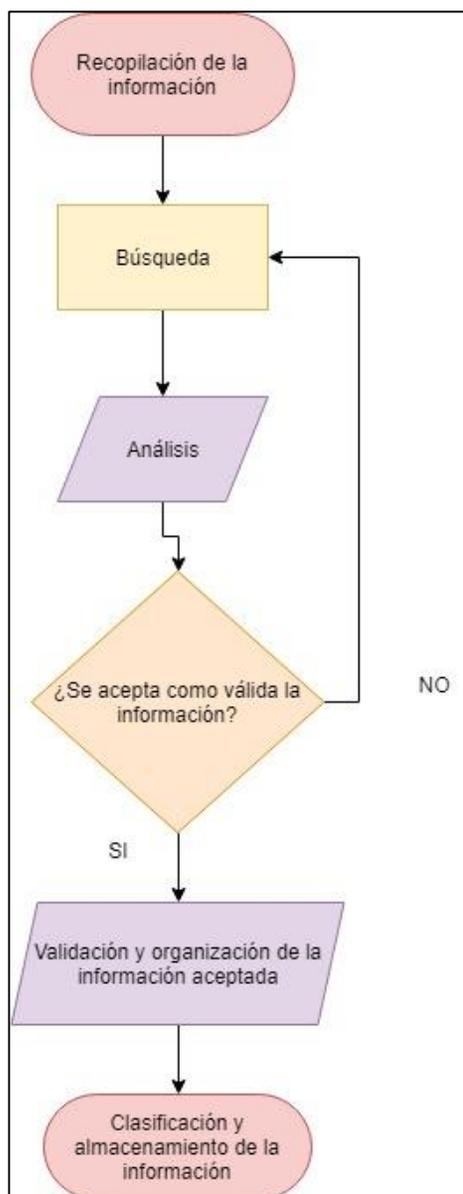
Una vez delimitada la superficie sobre de trabajo, se recopila y obtiene toda la información pertinente. En primer lugar el área afectada por un eventual flujo de lahares y los fenómenos hidrometeorológicos que se puedan presentar en el trayecto del río Pita desde Santa Teresita hasta San Rafael. La información espacial recopilada de la zona es la siguiente:

Ortofoto 2018 proporcionada por el ingeniero Gustavo Bolaños, que realizó un vuelo con un dron Phantom 4 para su proyecto de titulación Generación de un modelo de inundación del río Pita identificando puntos críticos formados por la sedimentación, precipitaciones máximas y eventuales erupciones del volcán Cotopaxi, tramo Santa Teresa-San Rafael (Arias & Bolaños, 2018).

El Modelo de los flujos de lahares y precipitaciones máximas se obtuvo del mismo trabajo, la información catastral otorgada por el Gobierno Autónomo Municipal Descentralizado de Rumiñahui (GADMUR) y el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) para la evaluación de daños y pérdidas en bienes inmuebles e infraestructura.

En segundo lugar para la propuesta del plan de uso y ocupación del suelo se revisó los registros de las ordenanzas municipales y plan de Ordenamiento Territorial vigentes en el cantón Quito en la plataforma web oficial de DMQ.

A continuación en la figura 7 se presenta un diagrama del proceso de recopilación de la información:



*Figura 7:* Diagrama de recopilación de la información

### 3.2. Análisis espacial

Para el análisis espacial de la zona se necesita el Modelo digital de Elevaciones (MDE) que fue generado a partir del vuelo de dron Phantom 4. Con este modelo y, con datos de caudal y

sedimentos se puede simular la afectación de una eventual erupción del volcán Cotopaxi o fenómenos hidrometeorológicos al sector con el software HECRAS (Arias & Bolaños, 2018).

El vuelo del dron Phantom 4 para la generación de la Ortofoto utilizó especificaciones técnicas descritas en la Tabla 1:

**Tabla 1**

*Especificaciones técnicas para el vuelo fotogramétrico*

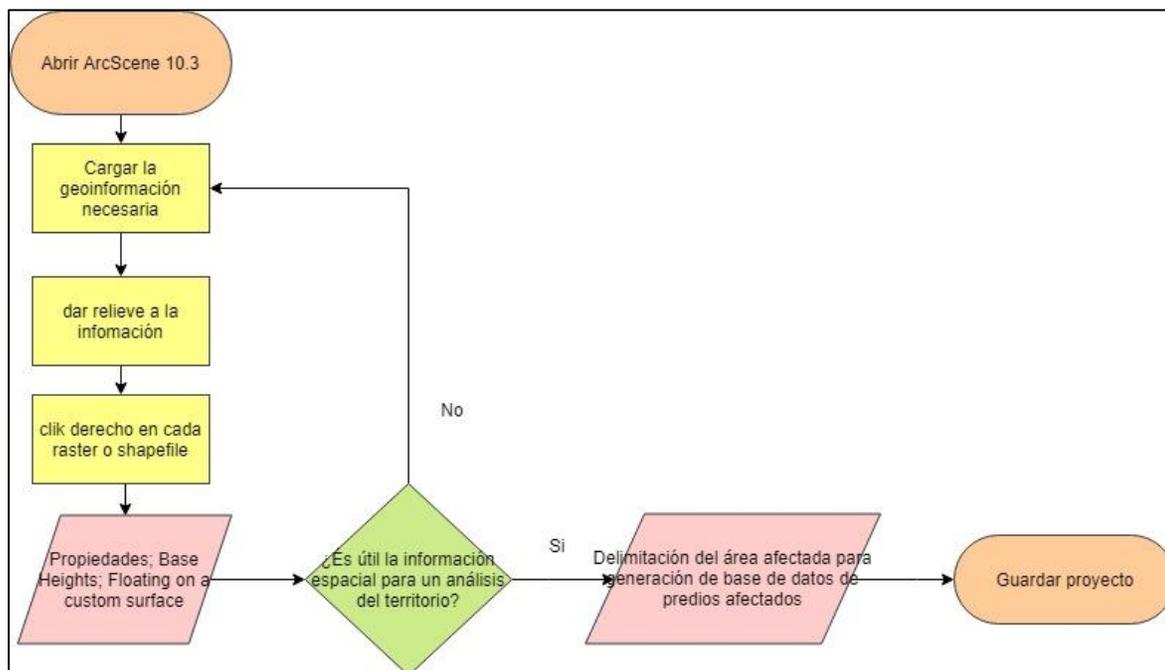
<b>Altura de vuelo</b>	120m
<b>Traslape longitudinal</b>	80%
<b>Traslape transversal</b>	80%
<b>Dirección de líneas de vuelo</b>	diagonales
<b>Número de baterías</b>	3
<b>Velocidad de vuelo</b>	8-10 m/s
<b>Tiempo de vuelo</b>	40-50 min

*Fuente:* (Arias & Bolaños, 2018)

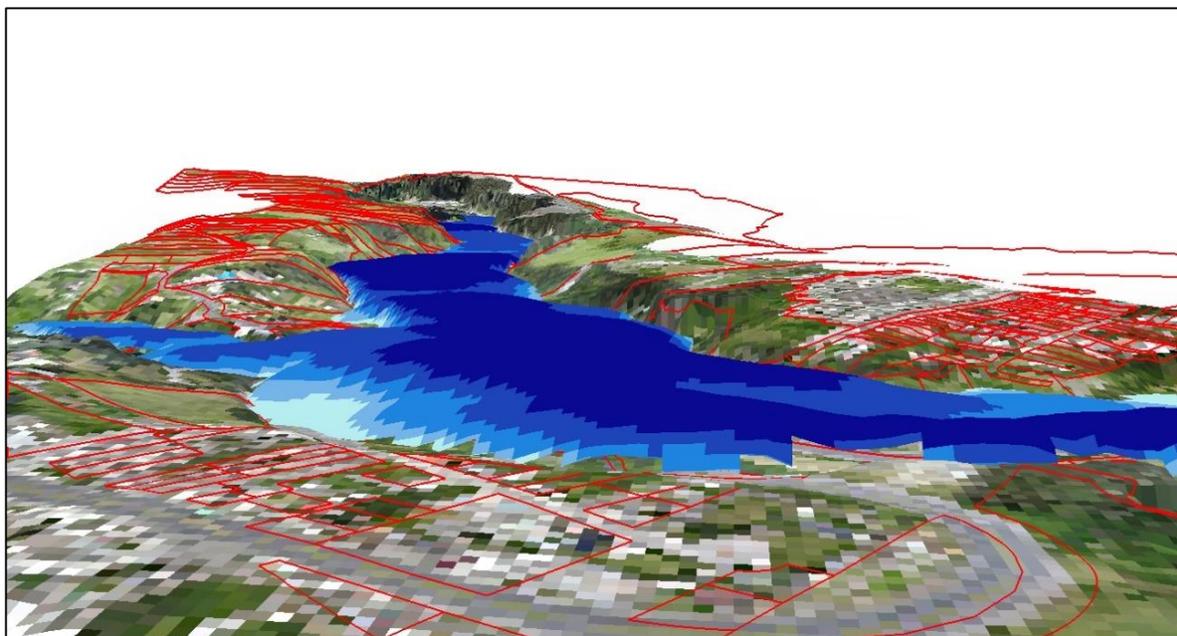
El dron proporciona una nube de puntos que se georreferenciaron con los puntos GPS tomados para el proceso fotogramétrico del trabajo de titulación antes mencionado para la elaboración de un modelo digital mediante la generación de curvas de nivel a partir de las cotas en Z (Arias & Bolaños, 2018). Con la información generada, obtiene el área de afectación sobre la cual se puede trabajar para la propuesta del plan de uso y ocupación del suelo.

Por consiguiente, generada la Ortofoto y el MDE de la zona de estudio y planteados los predios afectados, se procede a la simulación y visualización en 3D de los efectos de inundación en la zona.

A continuación se detalla en la figura 8 el diagrama del proceso para la generación del modelo:



**Figura 8:** Diagrama de flujo de modelación en 3D



**Figura 9:** Modelamiento en 3D del flujo de lahares del Cotopaxi en la cuenca del Río Pita.

### **3.3. Valoración predial.**

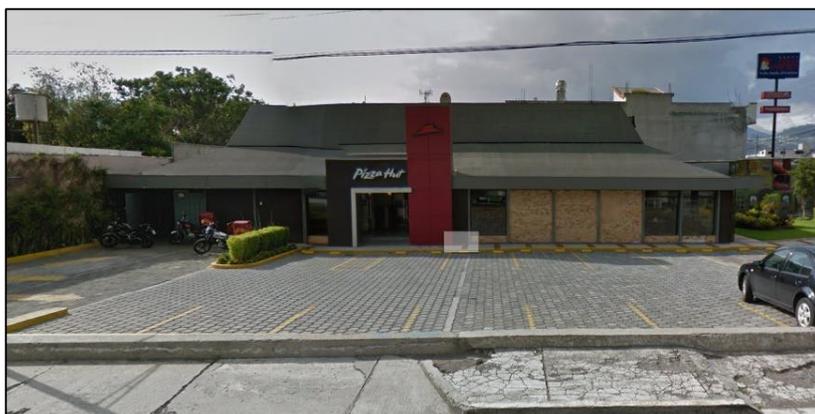
En el presente trabajo se buscó una metodología para tener una idea clara de cómo se valora el suelo tomando en cuenta los datos que proporcionaron las autoridades competentes y buscando uno de interpoladores que genere las Áreas de Intervención Valorativa AIVA, para la zona de estudio y de esta manera evaluar el daño y la pérdida por los lahares de una eventual erupción del volcán Cotopaxi o fenómenos hidrometeorológicos.

Para la valoración del suelo según la norma de la valoración técnica del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se establece que deben definirse las zonas homogéneas, servicios básicos y tomar en cuenta los Planes de Uso y Ocupación del Suelo (PUOS) a mediano y largo plazo.

Se realizó el plano de uso del suelo se base a información catastral verificada en campo y como se muestra en la figuras 10 y 11:



**Figura 10:** Reconocimiento de zonas homogéneas.

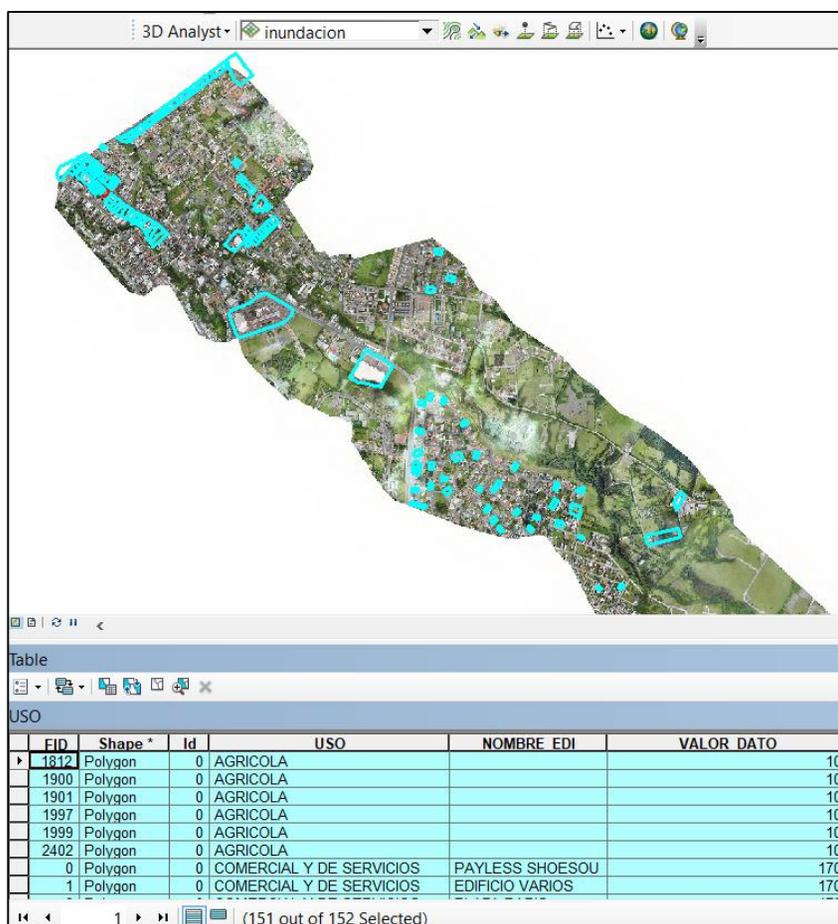


**Figura 11:** Predio identificado en campo.

De esta manera después de revisar los predios de la zona se obtuvo el mapa de uso del suelo como se observa en la figura 12:



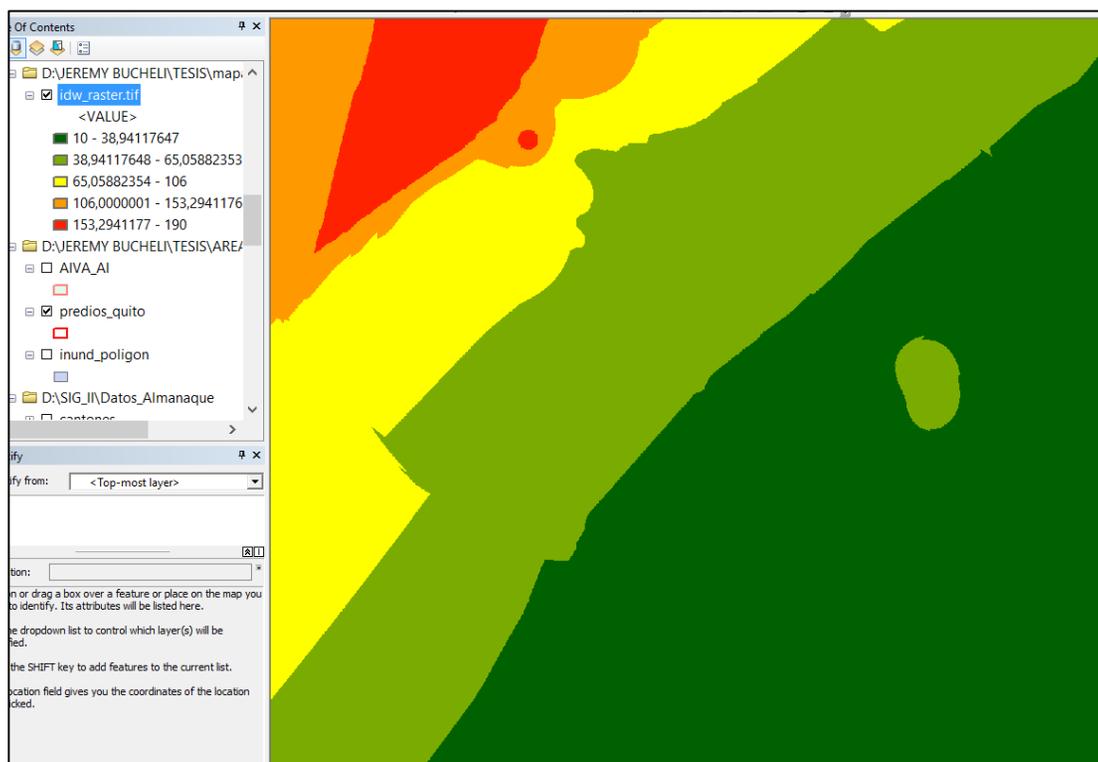
De esta manera se seleccionó los predios situados a lo largo de la zona de estudio y se les asignó el valor de dividir el valor económico del terreno para el número de metros cuadrados y se obtuvo el resultado de la figura 13:



**Figura 13:** Selección de los predios en la base de datos.

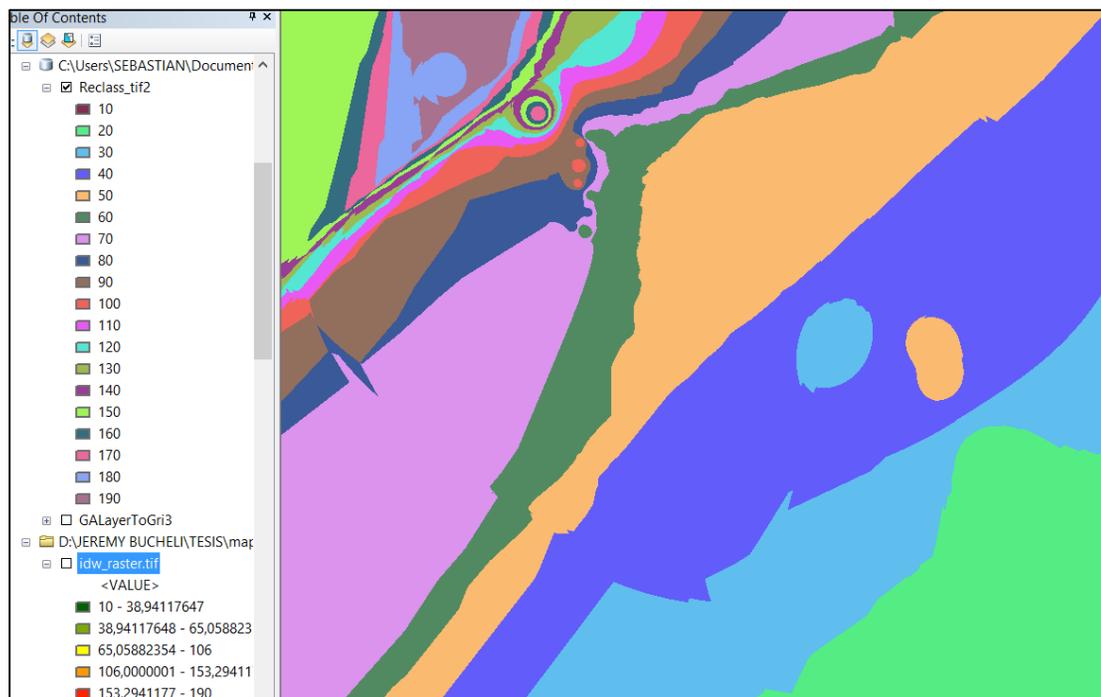
Una vez seleccionados los predios a lo largo del área de trabajo se procede a seleccionar un interpolador que arroje una superficie con los valores económicos del suelo por m<sup>2</sup>, la norma técnica de valoración del DMQ no especifica cuál de ellos usar y existe una gran variedad, pero para el presente estudio se seleccionó el IDW (*Inverse Distance Weighting*, inverso de la distancia ponderada) debido a que determina valores de celda mediante una combinación ponderada de un

grupo de puntos muestreados. El método presupone que la variable representada en la cartografía disminuye su influencia a mayor distancia del punto de muestra, de esta manera se obtiene la siguiente superficie ráster como se muestra en la figura 14 donde los valores van desde 10 a 190 dolares por m<sup>2</sup> dividido en 5 clases.



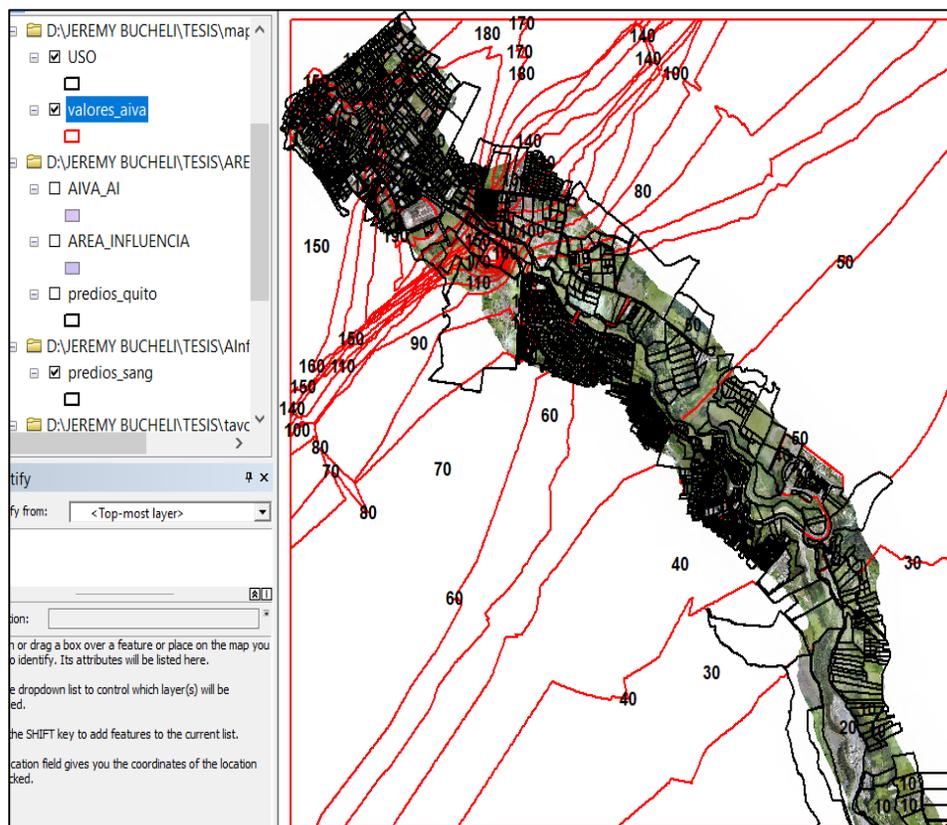
**Figura 14:** Raster resultante de la interpolación IDW.

Para trabajar a mayor detalle se reclasificó el ráster con la herramienta reclassify del software y se le asigna valores enteros con un intervalo de 10, empezando desde 10 hasta 190 es decir 19 clases para obtener el ráster que se muestra en la figura 15.

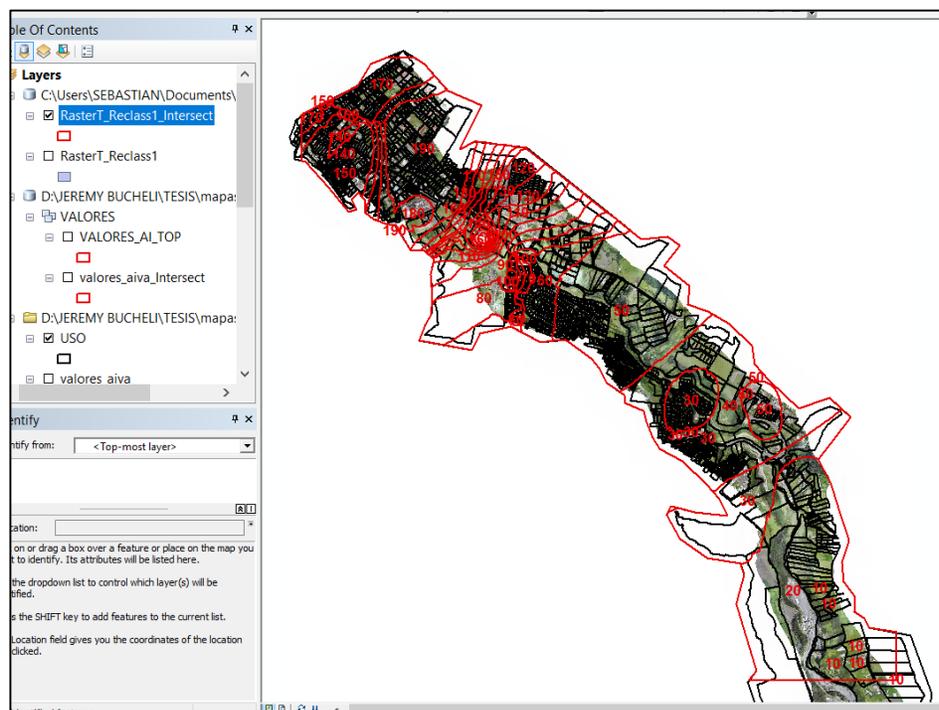


**Figura 15:** Reclasificación del ráster.

Se procede a convertir el ráster reclasificado en polígonos con la herramienta ráster to polygon del software y se obtiene un archivo .shp como el que se muestra en la figura 16. Después de obtener los polígonos que vienen a ser las áreas valorativas, para mayor facilidad de trabajo se interseca con el área de estudio con la herramienta intersect y se obtiene los polígonos solo en el sector de trabajo como se muestra en la figura 17.



**Figura 16:** Conversión de ráster a polígonos.



**Figura 17:** Intersect del área de estudio con el polígono de valores.

Los polígonos obtenidos se cruzan por cualquier sector del área de influencia por lo que varios predios podrían encontrarse dentro de 2 o más zonas valorativas como se muestra en la figura 18, para lo cual se procede a hacer pasar sus límites digitalizando a través de vías, bordes naturales como ríos, cerramientos, etc como se muestra en la figura 19.



**Figura 18:** Predios con varias zonas valorativas.



**Figura 19:** Corrección de polígonos de áreas valorativas.

Después de digitalizar se pasa a intersecar los polígonos de áreas valorativas con los predios de la zona para que estos adquieran el valor del polígono en el que se encuentran como se muestra en la figura 20, sin embargo debido a errores de topología hay polígonos que se duplican y otros que el sistema reconoce por error como figuras para lo cual se procedió a correr topología con la regla Must not overlap para así poder detectar errores de polígonos montados sobre otros como se muestra en la figura 21 y se los va depura de manera que no existan más predios de los que se tenía en un principio.



**Figura 20:** Predios con el valor por m<sup>2</sup> según la zona valorativa en la que se encuentran.



**Figura 21:** Error de topología, polígonos montados sobre otros polígonos.

Una vez obtenidos los valores como dice la norma se multiplica el área por el valor del  $m^2$  de la zona y se obtiene el valor del terreno en la tabla del atributos del archivo shp generado.

### **3.4. Predios afectados por el paso del Lahar y precipitaciones máximas en la zona**

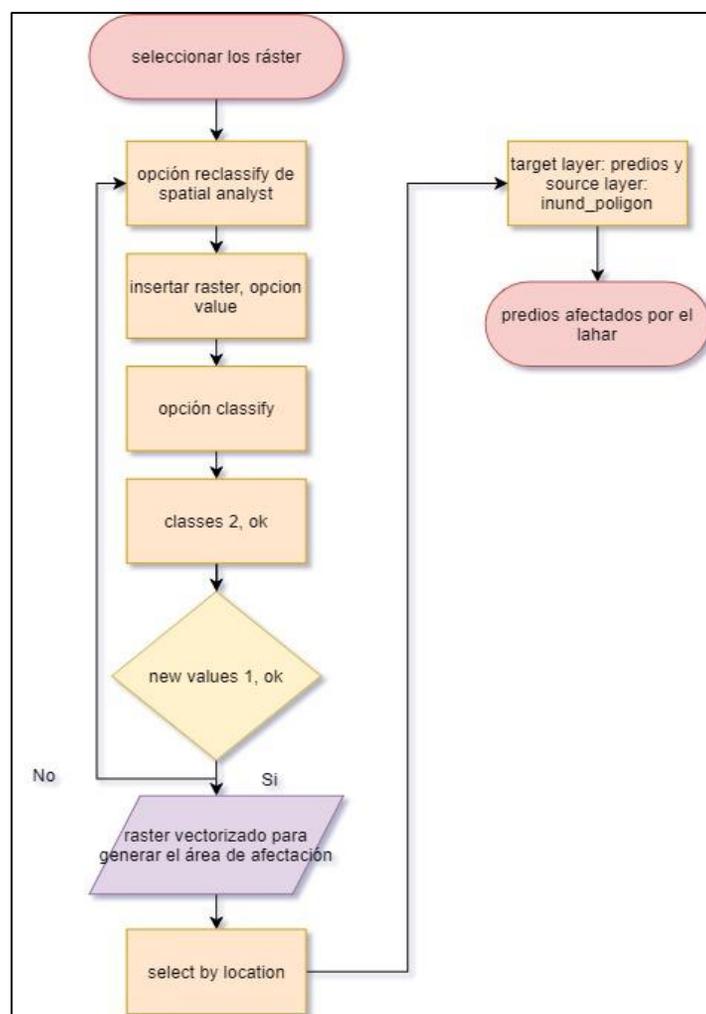
En el presente trabajo se utilizó un modelo raster de precipitaciones máximas como fenómeno hidrometeorológico y un modelo del lahar del volcán Cotopaxi en el trayecto del río Pita obtenidos del proyecto de titulación: “Generación de un modelo de inundación del río pita identificando puntos críticos formados por la sedimentación, precipitaciones máximas y eventuales erupciones del volcán Cotopaxi, tramo Santa Teresa-San Rafael” (Arias & Bolaños, 2018).

Para el análisis de los predios que son afectados por el paso del Lahar o eventuales precipitaciones máximas en la zona una vez generados los modelos de inundación de los mismos,

se procede a transformar los ráster resultantes en polígonos para poder intersecar con la información predial generada por los diferentes municipios.

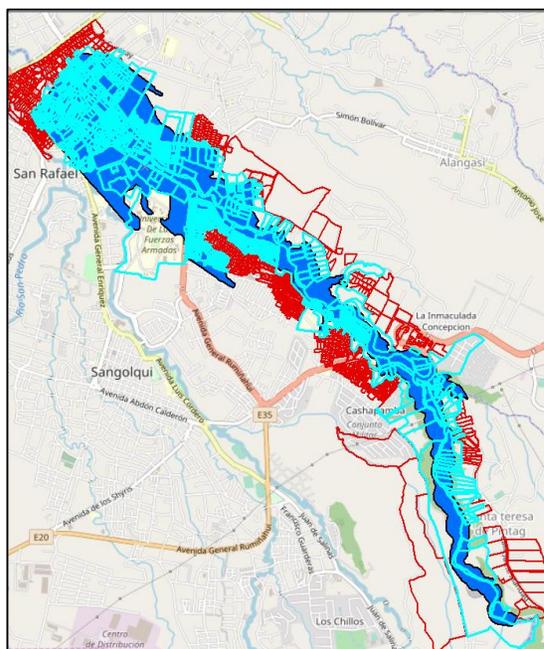
Como el ráster es una superficie que representa diferentes valores en cada pixel, al poligonizar, el programa no acepta todos estos valores, es por eso que se reclasifica el ráster para poder generar el área de afectación:

A continuación, se detalla el proceso para poligonizar un raster en la figura 22 que servirá posteriormente para determinar el área afectada:

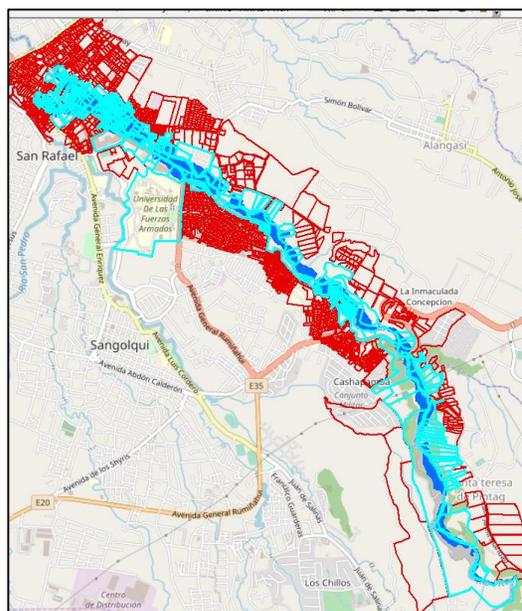


**Figura 22:** Diagrama de poligonización de raster y selección de predios afectados.

Una vez realizada la poligonización de los raster de inundaciones con los que se contaba, por ubicación se seleccionan aquellos predios que se intersecan con el área afectada por el Lahar y por el flujo de precipitaciones máximas como se muestra en las figuras 23 y 24.



**Figura 23:** Predios afectados por el paso del Lahar.



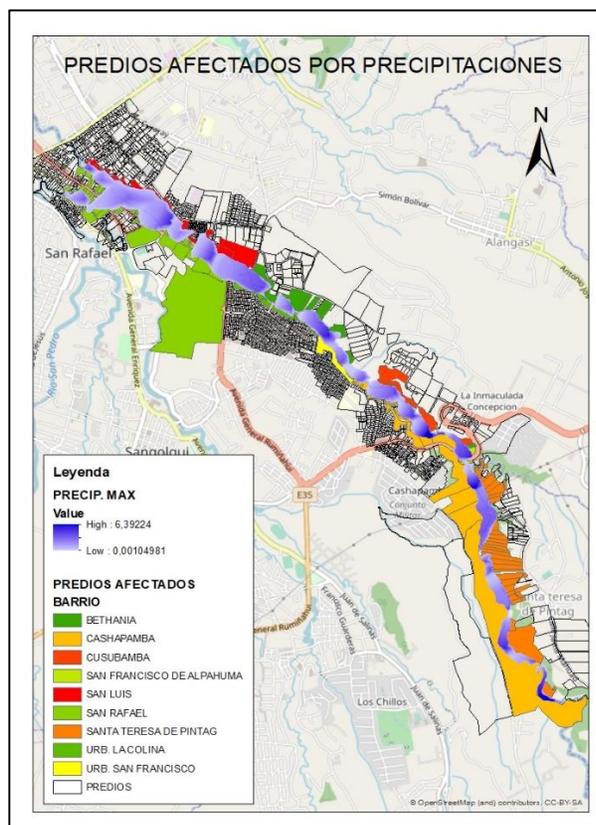
**Figura 24:** Predios afectados por el paso de precipitación máxima.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS

#### 4.1. Resultados del trabajo:

El modelo digital del terreno se establece con un tamaño de celda de 0.25x0.25 con 23,560 columnas y 25,680 filas con un valor en z máximo de 2655 y un mínimo de 2416 de altitud en metros y se anexa en la base de datos digital del presente trabajo. Por el flujo de precipitaciones máximas que se puedan producir en el trayecto del río Pita, en la presente investigación se obtuvo que se ven afectados 458 predios zonificados por barrios como se muestra en la figura 25 y la Tabla 2:



**Figura 25:** Afectación predial por precipitaciones máximas.

En la Tabla 2 se presenta la zonificación por barrios de los predios que son afectados por el flujo de precipitaciones máximas en un trayecto del río Pita.

**Tabla 2**

*Tabla de zonificación de predios afectados por el flujo de precipitaciones máximas.*

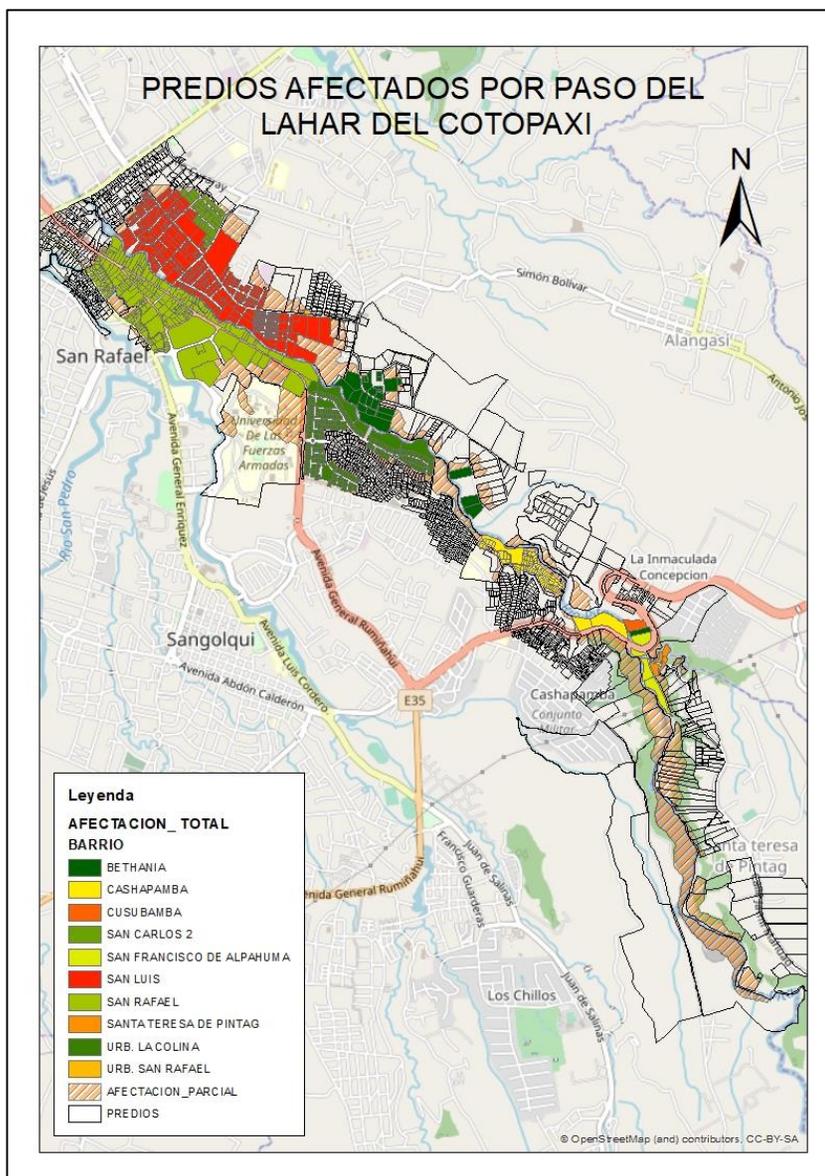
N	BARRIO	NÚMERO DE PREDIOS
1	BETHANIA	18
2	CASHAPAMBA	65
3	CUSUBAMBA	4
4	HELECHOS VERDES	0
5	SAN CARLOS 2	0
6	SAN FRANCISCO	0
7	SAN FRANCISCO DE ALPAHUMA	4
8	SAN LUIS	159
9	SAN RAFAEL	140
10	SANTA TERESA DE PINTAG	30
11	URB. LA COLINA	37
12	URB. SAN FRANCISCO	1
13	URB. SAN RAFAEL	0
	SUMATORIA	458

Por el paso del Lahar en el trayecto del río Pita que se estudió en la presente investigación se ha obtenido un total de 1244 predios que se ven afectados en su totalidad o parcialmente por el paso del Lahar del volcán Cotopaxi, 643 pertenecientes a la parroquia de Sangolquí en el cantón Rumiñahui y 601 pertenecientes a la parroquia Pintag cantón Quito.

Sin embargo el paso del Lahar no destruye por completo algunos predios, por lo cual zonificando el daño y pérdida se obtienen los resultados de las tablas 3 y figura 26, donde se muestra la afectación por barrios:

**Tabla 3:***Predios afectados total y parcialmente por barrios.*

N	BARRIO	P. PARCIAL		P. TOTAL		TODOS LOS PREDIOS		% del total de P afectados
1	BETHANIA	30	14.607.280,97	26	9.218.159,11	56	23.825.440,08	4,50
2	CASHAPAMBA	24	26.262.624,50	69	3.450.102,38	93	29.712.726,88	7,48
3	CUSUBAMBA	7	7.111.729,78	1	458.644,36	8	7.570.374,14	0,64
4	HELECHOS VERDES	4	14.190.289,17	37	11.152.803,31	4	14.190.289,17	0,32
5	SAN CARLOS 2	13	14.052.322,06	0	0,00	50	25.205.125,36	4,02
6	SAN FRANCISCO	2	76.444,72	4	1.143.318,96	2	76.444,72	0,16
7	SAN FRANCISCO DE ALPAHUMA	1	3.358.865,84	0	0,00	5	4.502.184,80	0,40
8	SAN LUIS	23	24.344.546,91	410	101.055.769,09	433	125.400.316,00	34,81
9	SAN RAFAEL	27	63.941.711,74	222	99.314.819,37	249	163.256.531,11	20,02
10	SANTA TERESA DE PINTAG	37	7.606.212,62	4	396.056,71	41	8.002.269,32	3,30
11	URB. LA COLINA	67	3.902.780,98	223	18.188.190,88	290	22.090.971,86	23,31
12	URB. SAN FRANCISCO	6	3.064.726,06	0	0,00	6	3.064.726,06	0,48
13	URB. SAN RAFAEL	6	822.776,16	1	187.701,11	7	1.010.477,27	0,56
	<b>SUMATORIA</b>	<b>247</b>	<b>183.342.311,50</b>	<b>997</b>	<b>244.565.565,27</b>	<b>1.244</b>	<b>427.907.876,76</b>	<b>100,00</b>



**Figura 26:** Predios afectados total y parcialmente por el Lahar.

En la Tabla 4 se calcula el costo de reposición de la afectación parcial y total de la zona de estudio por el paso del lahar del volcán Cotopaxi.

**Tabla 4**

*Total de predios afectados por el paso del Lahar y su valor en dólares.*

ITEM	N PREDIOS	VALOR
PREDIOS AFECTADOS TOTALMENTE	997	244,565,565.27
PREDIOS AFECTADOS PARCIALMENTE	247	183,342,311.50
SUMATORIA	1244	427,907,876.76

Debido a que los datos de construcción se tomaron de las bases de datos de DMQ y GADMUR se obtiene el costo de reposición de la afectación a las construcciones para cada uno de los cantones en la zona de estudio como se muestra en la Tabla 5.

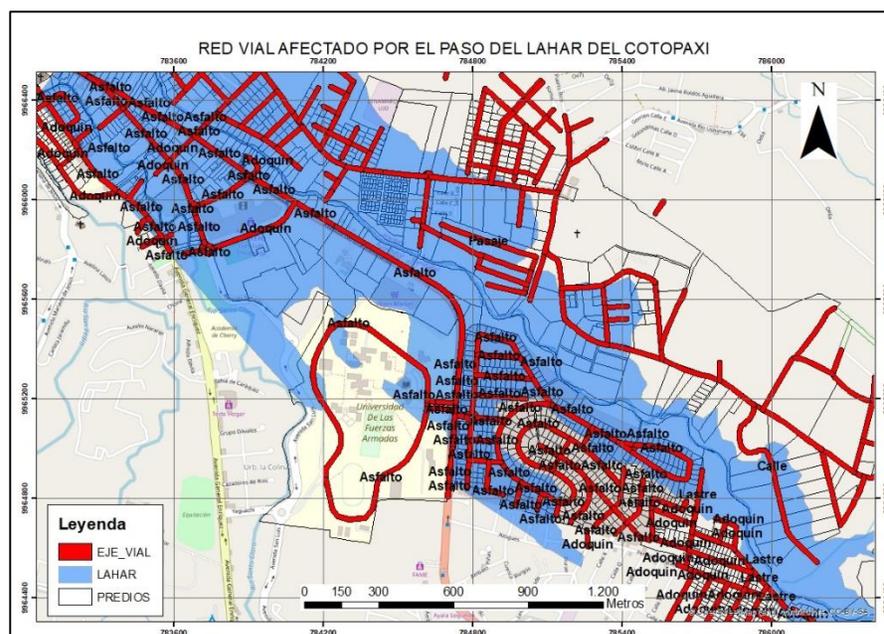
**Tabla 5**

*Construcciones afectadas por el paso del Lahar y su valor en dólares.*

ITEM	N PREDIOS	VALOR
CONSTRUCCIONES AFECTADAS DEL DMQ	475	60,000,326.59
CONSTRUCCIONES AFECTADAS DEL GADMUR	460	96,803,957.34
SUMATORIA	935	156,804,283.93

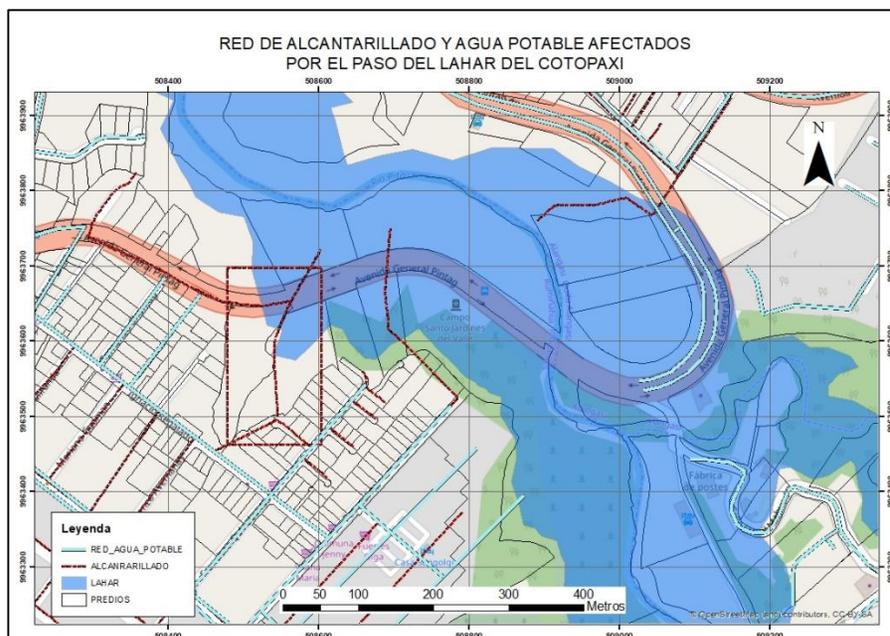
También se ven afectados en este trayecto del Lahar, la red vial, red de alcantarillado, red eléctrica, servicio de agua potable y la inhabilitación del servicio de transporte público que transitan por el sector (Coop Amaguaña, Vingala, Calsig, Condorvall, General Pintag, Termas Turis y empresas interprovinciales).

A continuación en la figura 27 se puede observar un tramo de red vial afectado por el paso del lahar del Cotopaxi en donde se puede identificar que existen tramos de asfalto, adoquín o lastrado.



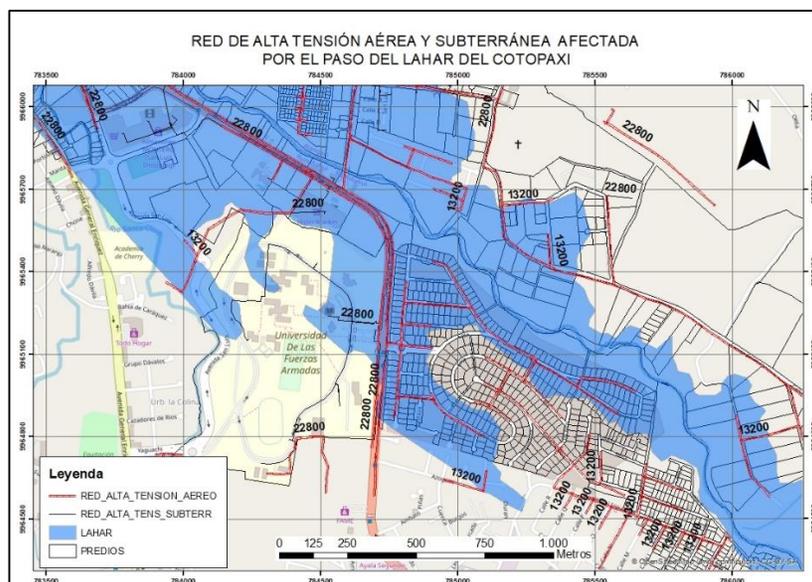
**Figura 27:** Red vial afectada por el Lahar del Cotopaxi, sector San Luis.

En la figura 28 se muestra un tramo de la red de alcantarillado y la red de agua potable que es afectado por el paso del lahar del Cotopaxi.



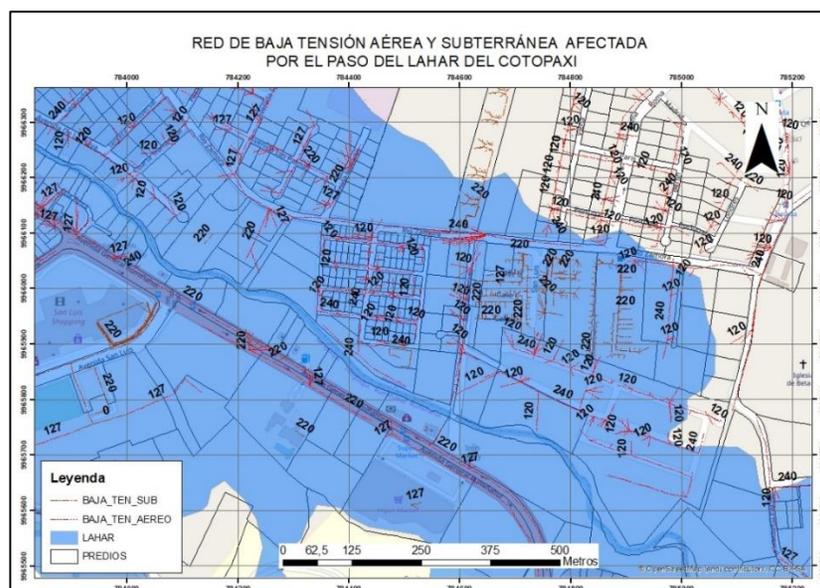
**Figura 28:** Red de agua potable y alcantarillado afectada por el paso del Lahar del Cotopaxi en el sector de Cashapamba.

En la figura 29 se observa el paso del lahar del Cotopaxi por un tramo de la zona de estudio en donde se ve afectada la red de alta tensión.



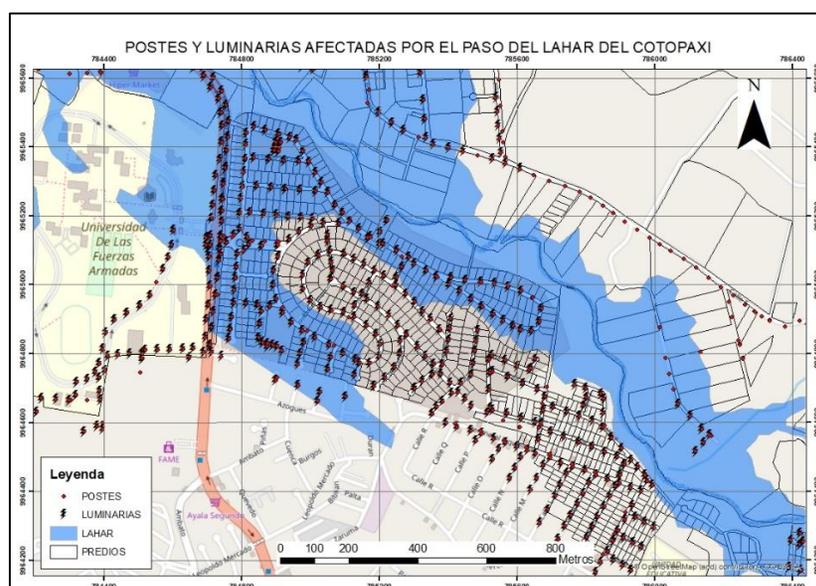
**Figura 29:** Alta tensión afectada por el lahar, La Colina.

Se observa en la figura 30 el paso del lahar por un tramo de la zona de estudio afectando la red de baja tensión.



**Figura 30:** Baja tensión afectada, San Luis.

Finalmente en la figura 31 se puede apreciar el paso del lahar del Cotopaxi por un tramo de la zona de estudio afectando la mampostería y luminarias.



**Figura 31:** Postes y luminarias afectados en el sector La Colina.

De esta manera se procedió a intersecar las redes: vial, alcantarillado, agua potable y eléctrica para obtener la afectación que permitan cuantificar la pérdida por el método de costo de reposición como se presenta en las tablas 6-11:

Para la red vial se usaron precios de la cámara de la construcción y se multiplicó por el área afectada como se puede apreciar en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Tabla de costo de reposición de red vial.*

<b>ITEM</b>	<b>ADOQUÍN m2</b>	<b>ASFALTO m2</b>	<b>EMPEDRADO m2</b>	<b>LASTRE m2</b>	<b>TOTAL m2</b>
<b>EJE VIAL SANGOLQUI</b>	75,814.00	222,743.39	1,085.65	20,740.70	320,383.74
<b>EJE VIAL QUITO</b>	100,487.66	143,465.22	40,434.31	25,782.97	310,170.16
<b>SUMATORIA</b>	176,301.66	366,208.61	41,519.96	46,523.67	630,553.90
<b>VALOR</b>	7.50	107.55	5.75	50.76	
<b>TOTAL</b>	1,322,262.44	39,385,736.18	238,739.77	2,361,541.52	43,308,279.91

Para obtener el costo de reposición de la red de agua potable y alcantarillado en base al tipo de material, se obtuvo el precio con el generador de precios para espacios urbanos de Ecuador y se multiplicó por la afectación como se observa en las tablas 7 y 8.

**Tabla 7**

*Tabla de costo de reposición de red de agua potable.*

<b>ITEM</b>	<b>LONGITUD en m</b>	<b>COSTO TUBO PVC x m</b>	<b>TOTAL</b>
<b>RED DE AGUA QUITO</b>	14,359.40	7.19	103,244.10
<b>RED DE AGUA SANGOLQUI</b>	23,747.04	7.19	170,741.21
<b>SUMATORIA</b>	38,106.44		273,985.31

**Tabla 8***Tabla de costo de reposición de red de alcantarillado.*

<b>ITEM</b>	<b>LONGITUD EN m</b>	<b>COSTO x m de tubo H.A simp</b>	<b>TOTAL</b>
<b>RED DE ALCANTARILLADO QUITO</b>	4,212.48	82.54	347,697.98
<b>RED DE ALCANTARILLADO SANGOLQUI</b>	19,185.45	82.54	1,583,567.44
<b>SUMATORIA</b>	27,878.93		1,931,265.42

Para la obtención del costo de reposición de la red eléctrica se contó con la colaboración de la consultora SEPROELECSA S.A. quienes facilitaron un documento que se anexa en digital con los costos de los materiales como se muestra en las tablas 9, 10 y 11.

**Tabla 9***Tabla de costo de reposición de postes de la red eléctrica.*

<b>SUBTIPO</b>	<b>NUMERO DE POSTES</b>	<b>VALOR C/U</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1</b>	1,105.00	569.70	629,518.50
<b>2</b>	11.00	1,686.06	18,546.66
<b>3</b>	1.00	1,828.01	1,828.01
<b>4</b>	61.00	1,753.50	106,963.65
<b>SUMATORIA</b>			<b>756,856.82</b>

**Tabla 10***Tabla de costo de reposición de luminarias de la red eléctrica.*

<b>POTENCIA DE LUMINARIA</b>	<b>NOMERO DE AFECTACIONES</b>	<b>VALOR C/U</b>	<b>TOTAL</b>
<b>70</b>	149	112.03	16,692.47
<b>100</b>	244	126.86	30,953.84
<b>150</b>	155	163.51	25,344.05
<b>250</b>	249	172.59	42,974.91
<b>400</b>	113	196.04	22,152.52
			<b>138,117.79</b>

**Tabla 11**

*Tabla de costo de reposición del cableado de la red eléctrica.*

<b>TENSIÓN</b>	<b>13200 W en m</b>	<b>22800 W en m</b>	<b>120w en m</b>	<b>127w en m</b>	<b>210w en m</b>	<b>220w en m</b>	<b>240w en m</b>	<b>TOTAL</b>
<b>ALTA AÉREO</b>	4,099.50	20,409.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24,508.83
<b>ALTA SUB</b>	0.00	4,603.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4,603.73
<b>BAJA AÉREO</b>	0.00	0.00	11,303.26	8,329.13	6.24	21,238.92	12,688.86	53,566.40
<b>BAJA SUB</b>	0.00	0.00	743.27	1,383.01	111.00	10,958.24	3,051.88	16,247.41
<b>VALOR \$</b>	15.06	17.06	5.11	5.56	10.21	12.73	15.86	98,926.38
<b>TOTAL</b>	61,738.39	426,722.94	61,557.75	53,999.50	1,197.02	409,869.82	249,648.27	1,264,733.70

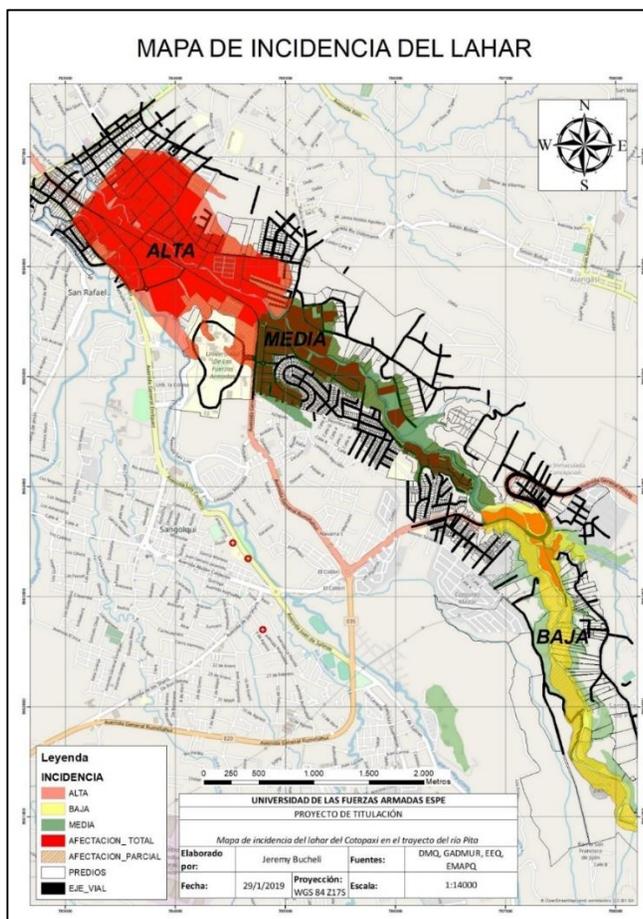
Se dividió la afectación en alta (zona 01), media (zona 02) y baja (zona 03) por el porcentaje de construcción que existe y es afectado por el paso del lahar, como se puede observar en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Riesgo por el porcentaje de construcción en la zona.*

<b>ZONA DE RIESGO</b>	<b>TOTAL PRED</b>	<b>PRED SIN CONSTRUIR</b>	<b>% SIN CONST.</b>	<b>% CONST.</b>
<b>ALTA</b>	1119	130	11.62	88.38
<b>MEDIA</b>	998	336	33.67	66.33
<b>BAJA</b>	332	114	34.34	65.66

En la figura 32 se puede observar el mapa de incidencia del lahar del Cotopaxi sobre la zona de estudio clasificado en alta media y baja por el porcentaje de construcción que tiene cada sector.

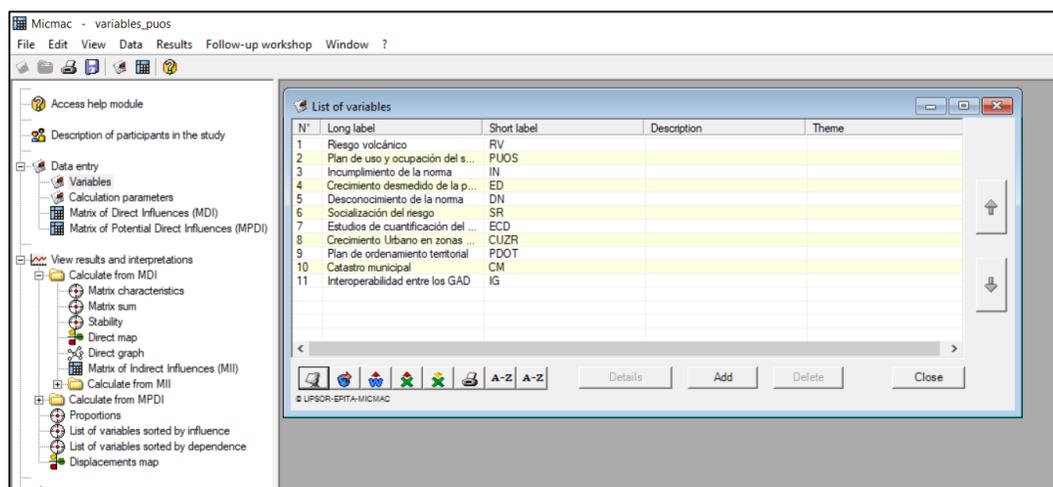


**Figura 32:** Mapa de incidencia del lahar del Cotopaxi.

## 4.2. Propuesta de uso y ocupación del suelo.

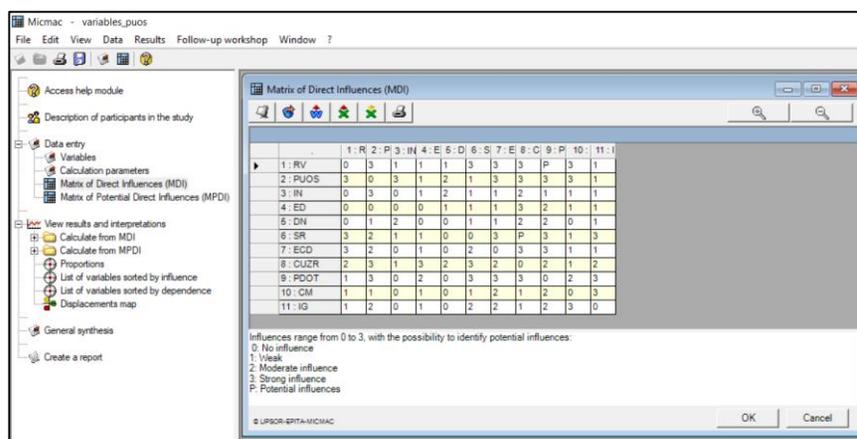
En la presente propuesta se toma en cuenta el análisis de variables que afectan a la zona de estudio, las cuales permitan generar posibles escenarios para la toma de decisiones. Para el estudio de dichas variables se utilizó como una herramienta de análisis el software MICMAC, el cual permite encontrar las más significativas. Para este trabajo se decidió tomar las variables: Riesgo volcánico, Precipitación máxima, plan de uso y ocupación del suelo, incumplimiento de la norma, crecimiento desmedido de la población, desconocimiento de la norma, socialización del riesgo, estudios de cuantificación del riesgo, crecimiento urbano en zonas de riesgo, plan de ordenamiento

territorial, catastro municipal e interoperabilidad entre los GAD competentes como se muestra en la figura 33.



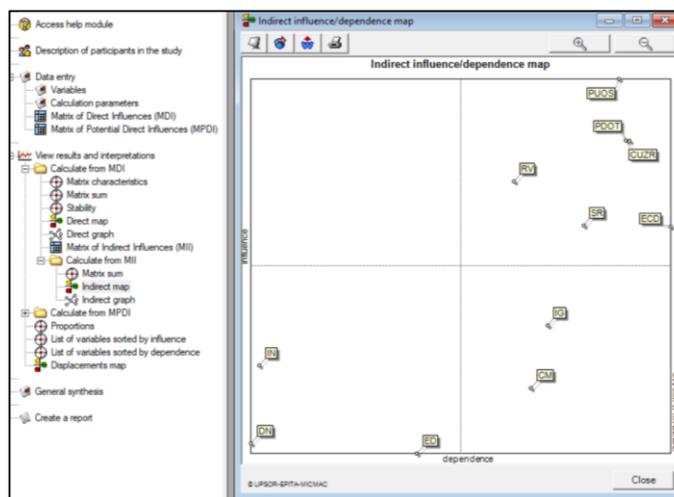
**Figura 33:** Análisis de variables en MICMAC. Obtenido de la versión 6.1.2

En el programa se forma una matriz en donde se obtiene a criterio del evaluador, el grado de dependencia que tiene cada variable con respecto a las demás como se muestra en la figura 34 siendo 0 un valor que no representa influencia, 1 influencia débil, 2 influencia moderada, 3 influencia fuerte y P o 4 influencia potencial.



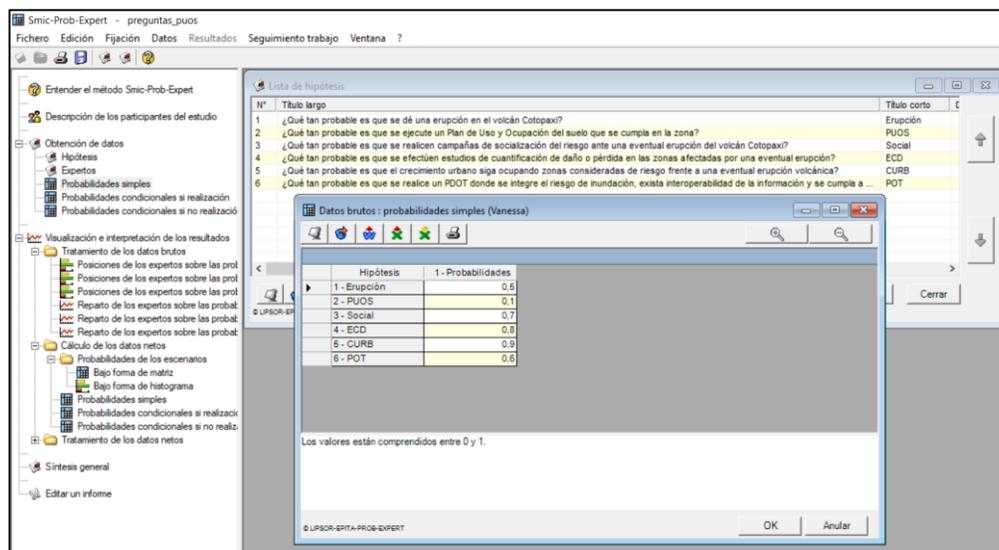
**Figura 34:** Matriz de dependencia de variables.

Dando como resultado que las variables que tienen mayor peso son: Plan de Uso y Ocupación del Suelo, Crecimiento urbano en zonas de riesgo volcánico, Plan de ordenamiento territorial, socialización del riesgo volcánico, Estudios de cuantificación del daño y el riesgo volcánico como se muestra en la figura 35:



**Figura 35:** Análisis de dependencia de variables en MICMAC versión 6.1.2.

Posteriormente con las variables significativas se formulan preguntas clave a manera de hipótesis tomando en cuenta la probabilidad de que se produzcan ciertos eventos que tengan un impacto en la zona de estudio y fueron evaluadas por medio de encuesta con el criterio de expertos para el análisis de 3 escenarios prospectivos pesimista, tendencial y optimista. En la figura 36 se puede apreciar el análisis de la encuesta en el software Smic-Prob-Expert.



**Figura 36:** Evaluación de la encuesta en el software Smic-Prob-Expert.

Se realizó un análisis morfológico de las hipótesis y las variables para determinar cuál es el camino que lleva a los diferentes escenarios como se observa en la figura 37 y en la tabla 13 se explicó cada hipótesis en su respectivo escenario.



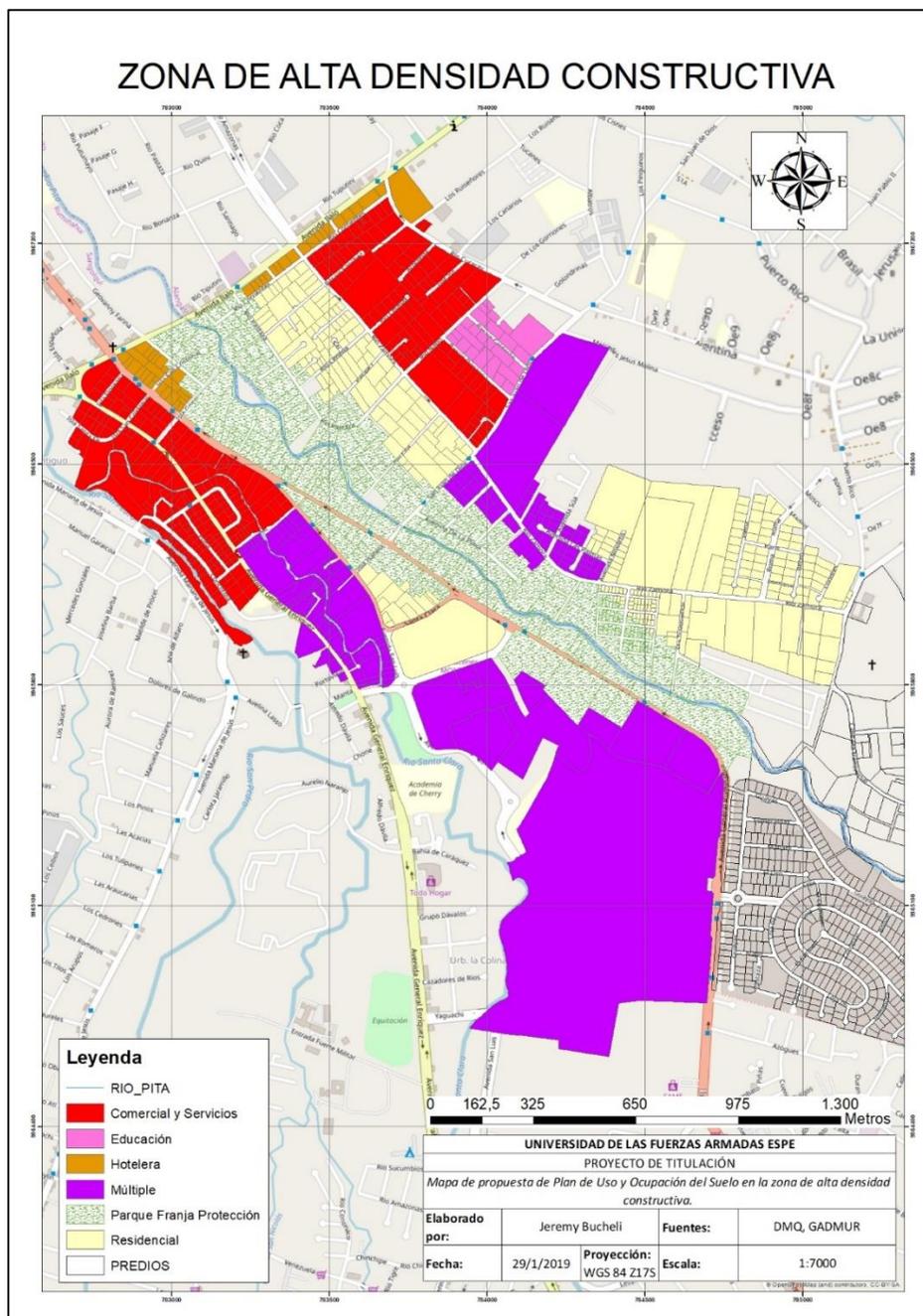
**Figura 37:** Análisis morfológico de los 3 escenarios.

**Tabla 13***Escenarios prospectivos para la propuesta de plan de uso y ocupación.*

<b>Escenarios prospectivos</b>	<b>Plan de Uso y Ocupación del Suelo</b>	<b>Crecimiento urbano en zonas de riesgo volcánico</b>	<b>Plan de ordenamiento territorial</b>	<b>socialización del riesgo volcánico</b>	<b>Estudios de cuantificación del daño</b>	<b>riesgo volcánico</b>
<b>PESIMISTA</b>	No se cumple, o no existe	Aumenta en un 70-90%	No se cumple o no existe interoperabilidad en la información	No se socializa cual es el riesgo en las zonas de afectación, la población desconoce rutas de evacuación, sitios seguros, puntos de encuentro, etc	No existen estudios de cuantificación del daño y pérdida frente a una eventual erupción, datos poco confiables desactualizados.	El volcán Cotopaxi erupciona, daña y destruye bienes inmuebles con el flujo de sus lahares.
<b>TENDENCIAL</b>	Existe un PUOS que se cumple parcialmente	crece entre un 50-70%	Existe un plan que toma en cuenta el riesgo volcánico	Se destina una pequeña parte del presupuesto a socializar los efectos que tendría una eventual erupción del Cotopaxi.	Existen estudios que permiten una mejor planificación del territorio.	Existe una mediana probabilidad de que el Volcán entre en su proceso eruptivo.

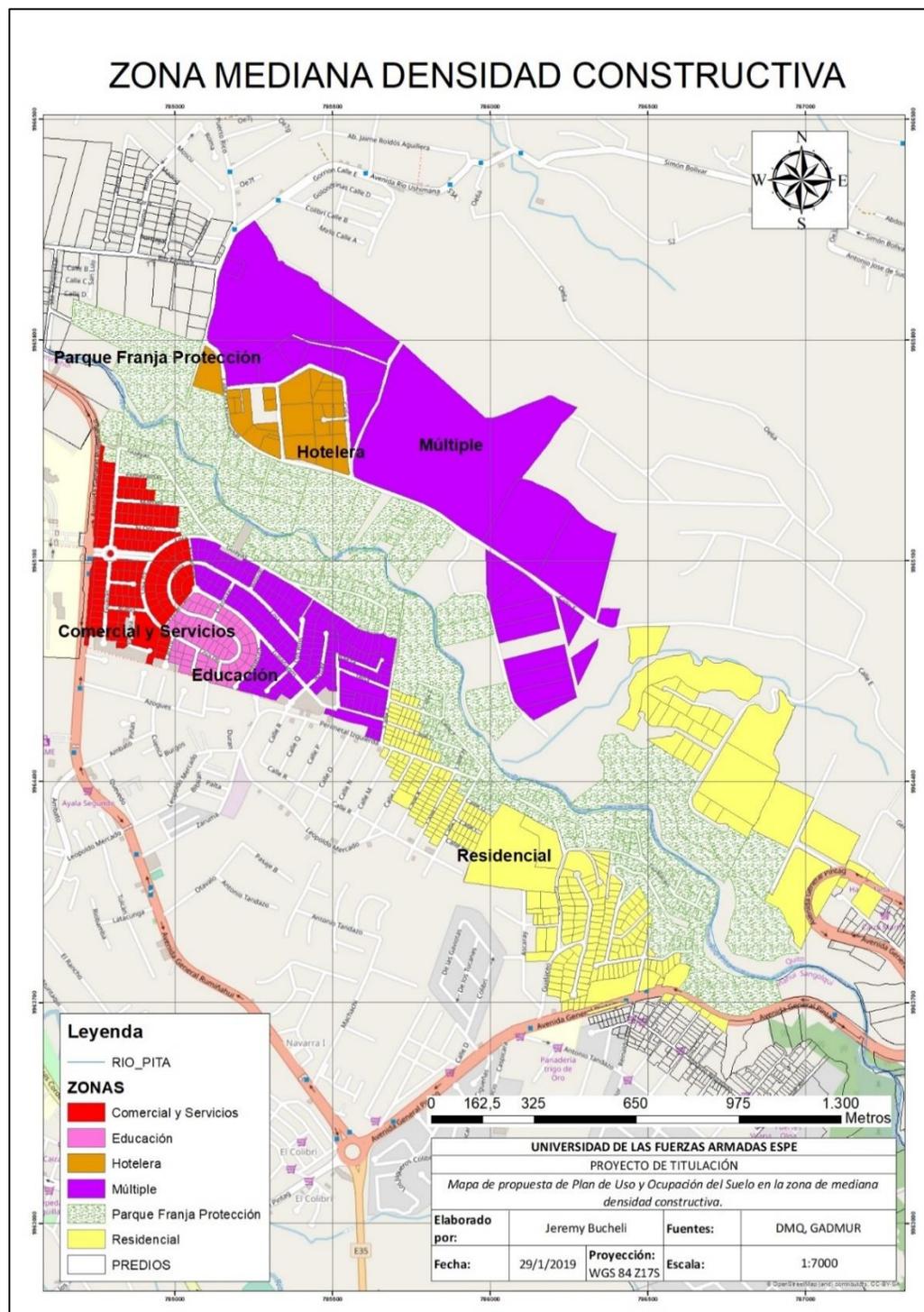
OPTIMIST A	Se cumple y los GAD competentes controlan su funcionamiento.	La urbanización se detiene por completo en zonas de riesgo volcánico, se cumple el PUOS	El PDOT toma en cuenta el Riesgo volcánico y las instituciones encargadas trabajan en conjunto para generar información interoperable.	Se realizan campañas de socialización del riesgo de manera que toda la población esté informada y capacitada para actuar frente a una eventual erupción del volcán Cotopaxi.	Existen estudios de cuantificación del daño y pérdida con datos confiables que permiten una óptima planificación del territorio y minimizan las afectaciones a bienes inmuebles.	El volcán Cotopaxi tiene una baja probabilidad de entrar en un proceso eruptivo.
---------------	--	---	--	--	--	--

En las figuras 38, 39 y 40 se puede observar el escenario optimista en zonas de alta (zona 01), mediana (zona 02) y baja (zona 03) densidad constructiva que aunque toma al riesgo volcánico como un evento de poca probabilidad, le da importancia formando una franja de protección a lo largo del trayecto del río Pita. En la zona 01 se procura favorecer al sector comercial y múltiple e incluso a la zona hotelera dándoles prioridad para la ocupación y siempre incentivando el crecimiento vertical.



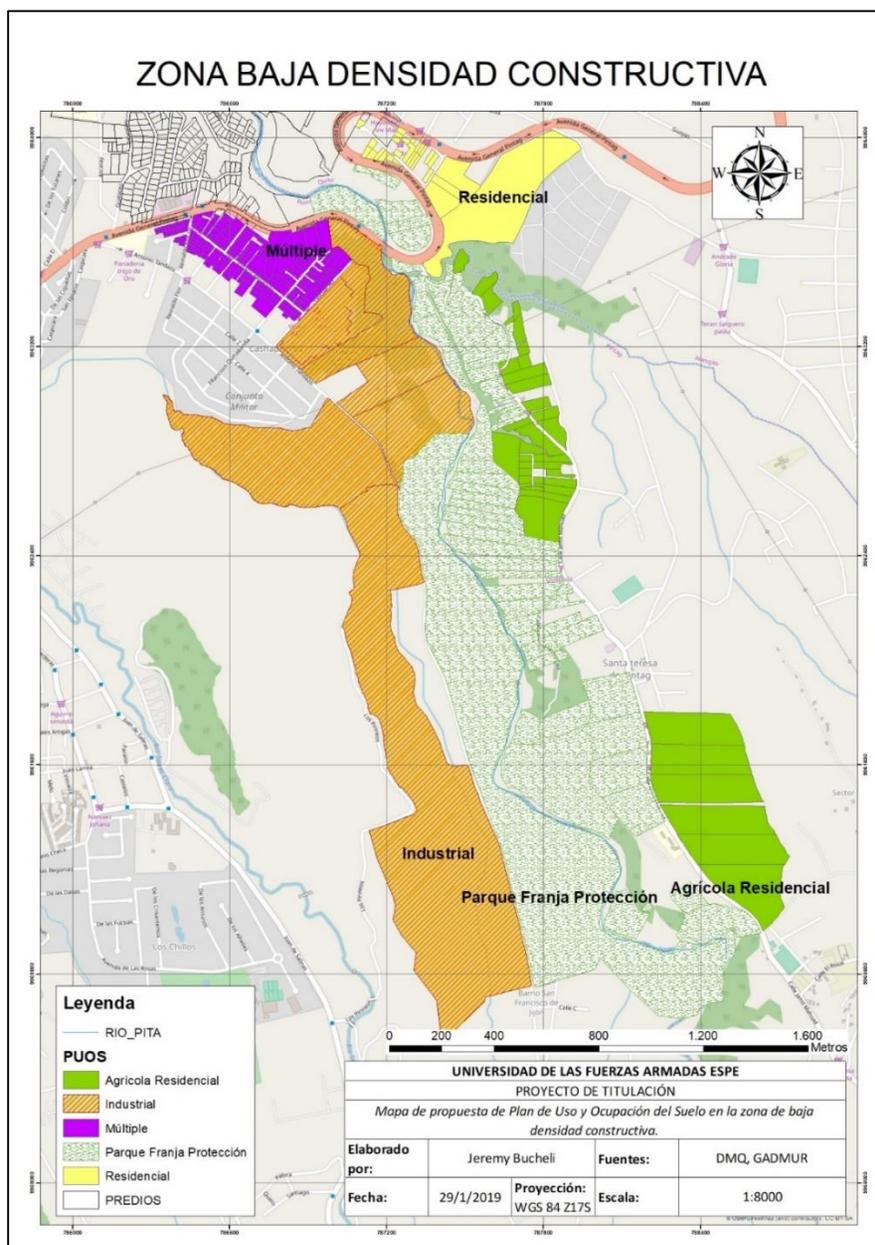
**Figura 38:** Zona 01 de alta densidad constructiva.

En la zona 02 al ser una zona de mediana densidad constructiva se propone ser aprovechada de manera residencial, múltiple y educación de la misma manera incentivando el crecimiento vertical más que el horizontal.



*Figura 39: Zona 02 de mediana densidad constructiva.*

En la zona 03 al ser una zona de baja densidad constructiva, estar alejada de la parte comercial y ser un sector casi rural, se propone su aprovechamiento en su mayoría de forma agrícola-residencial e industrial con una parte de edificación múltiple y residencial en las partes más cercanas a la principal vía de acceso.



**Figura 40:** Zona 03 de baja densidad constructiva.

Finalmente a las zonas que se definieron en la propuesta de plan de uso y ocupación del suelo para el escenario optimista, se genera una tabla para las características constructivas tomando en cuenta criterios del Plan de Uso y Ocupación de Suelo (PUOS) del Distrito metropolitano de Quito (DMQ) como número de pisos y una reestructuración parcelaria del tamaño mínimo que debería tener un lote según la zona donde se encuentre, de esta manera se puede observar la Tabla 14.

**Tabla 14**

*Propuesta de zonificación para la de estudio.*

RETIROS												
Zona	Número de predios	Área que ocupa	% de ocupación	# Pisos	altura máxima de C/P	distancia entre bloques	Lote mínimo m2	COS %	CUS %	F	L	P
Agrícola-Residencial	37	396,808.78	4.90	1-2	2.5	7	1000	25	50	10	5	5
Industrial	7	1,118,374.49	13.81	3-4	3	10	10000	80	320	25	10	10
Franja de protección	668	2,675,033.25	33.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Educación	94	95,997.98	1.19	3-4	2.5	5	2500	60	240	5	0	0
Comercial y de Servicios	435	547,376.66	6.76	3-6	3	5	2000	90	540	0	0	4
Hotelera	70	141,216.19	1.74	3-6	2.5	5	700	80	480	5	0	0
Múltiple	525	1,868,977.55	23.08	2-6	2.5	7	500	90	540	5	0	4
Residencial	614	1,255,435.82	15.50	2-5	2.5	4	200	80	400	0	3	4

También se anexa una matriz causa efecto de los factores y acciones que se interrelacionan en el estudio como se muestra en la tabla 15 para tener una idea de cuales son y cómo se pueden mitigar los posibles impactos negativos y potenciar los positivos que se puedan producir.

**Tabla 15***Matriz causa efecto factores-acciones.*

		ACCIONES CON POSIBLES EFECTOS													
		Transformación del suelo			Extracción de recursos	Modificación del suelo	Tráfico		Residuos			Planificación del territorio			
		Urbanización	Emplazamiento Industrial	Carreteras	Deforestación	Reforestación	Transporte por carretera	Líneas eléctricas	Efluentes líquidos	Emisiones atmosféricas	Vertidos accidentales	socialización del riesgo	Elaboración de estudios de cuantificación	Elaboración y ejecución del PUOS	PD OT
FACTORES	CARACT. FÍSICO- QUÍMICAS	Tierra	Suelos												
		Atmósfera	Calidad												
	Agua	Calidad													
		Temperatura													
	Procesos	Erosión													
		Exposición													
	FACTOR CULTURAL	Uso del territorio	Espacios abiertos y fauna												
			Bosques												
			Pastos												

CONTINÚA →

		Agricultura														
		Zona residencial														
		Zona industrial														
	Recreacional	Deportes														
		Camping														
		Zonas verdes														
	Estético	Vistas y paisajes														
		Parques y reservas														
	Cultural	Cultura o formas de vida														
		Salud y seguridad														
		Empleo														
	Servicios	Red de transporte														



En base a toda la información obtenida y generada en el presente trabajo se anexa una Geodatabase con un catálogo de objetos generado a partir del catálogo 1:5000 del Instituto geográfico Militar en donde se presenta la categoría y sub categoría de las unidades que se representan en la cartografía y en base a la escala 1:500 se le asigna un atributo tipo: Punto, Línea o Polígono que se anexan digitalmente.

## **CAPITULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **5.1. Conclusiones.**

Una precipitación máxima es un fenómeno hidrometeorológico que provoca inconvenientes al momento de darse, sin embargo, es un flujo líquido que desaparece con el pasar de las horas, y si bien provoca daños a los bienes inmuebles no es una afectación masiva, que pasa casi desapercibida ya que se soluciona en poco tiempo.

Nuestro país se encuentra ubicado dentro del cinturón de fuego del océano Pacífico de tal manera que tiene una gran probabilidad de que uno de los volcanes activos empiece su proceso eruptivo, uno de ellos el Cotopaxi, el más grande del Ecuador y que posee una gran cantidad de glaciares en su cono, lo que provoca que los lahares se esparzan por las diferentes cuencas hidrográficas de sus alrededores, una de ellas la del Río Pita que atraviesa zonas en donde la urbanización ha tomado un papel importante al existir varios centros comerciales, bancos, condominios, bares entre otros.

Se realizó una valoración del suelo por medio del método del dato indirecto, vigente en la Norma Técnica de Valoración del DMQ 2018-2019 con lo cual se obtuvo valores del m<sup>2</sup> a lo largo de toda la zona de estudio, para poder utilizar la interpolación IDW (inverso de la distancia ponderada) y después de un proceso de reclasificación, vectorización y digitalización se obtuvieron los valores para cada predio dependiendo el polígono en el que estén.

Con los modelos de flujo de lahares y fenómenos hidrometeorológicos que pasan por la cuenca del río Pita en la zona de estudio se procedió a poligonizar e intersecar con los bienes inmuebles e infraestructura de la zona para obtener el daño parcial y pérdida total.

En la zona de estudio se puede observar que existen 997 predios que se ven afectados de manera total y 247 de manera parcial, un total de 1244 predios con un costo total de reposición de 584,712,159.8 \$, debido a un crecimiento urbano desmedido y sin control que se ha dado sin tomar en cuenta el riesgo que existe frente a una eventual erupción del volcán Cotopaxi.

Los bienes pertenecientes a red vial (630,553.90 m<sup>2</sup>), eléctrica (98,926.37 m), de agua potable (38,106.44 m) y alcantarillado (27,878.93 m) dando un total de costo de reposición de 47,673,238.94 \$.

En la propuesta del Plan de Uso y Ocupación del suelo se plantea el escenario optimista, resultado del análisis morfológico de las variables más significativas, representado por 3 zonas de aplicación que poseen una franja de protección alrededor del río Pita, en la que se pueden realizar parques o lugares de recreación al aire libre. La zona 01 de alta densidad constructiva posee áreas hoteleras, comercial y de servicios, múltiple, residencial y de educación. La zona 02 de mediana densidad constructiva se distribuye en comercial y de servicios, múltiple, hotelera, educación y residencial. Finalmente la zona 03 de baja densidad constructiva se distribuye en agrícola residencial, industrial, múltiple y una pequeña porción a residencial, tomando en cuenta que es un lugar más rural.

Se generó una Geodatabase con todos los productos obtenidos de este trabajo para proponer un catálogo de objetos que pueda utilizarse a escala 1:500 en la zona de estudio tomando como referencia el catálogo de objetos a escala 1:5000 del Instituto Geográfico militar.

## **5.2. Recomendaciones.**

Es importante realizar el análisis a detalle del flujo de lahares en el otro río que pasa cerca del área de estudio (Santa Clara) para obtener información más amplia que permita obtener mejores resultados para un plan de uso y ocupación del suelo.

Los GAD estudiados considerar un peso más significativo a las zonas de riesgo volcánico ya que frente a una eventual erupción del volcán Cotopaxi se pierden millones en bienes inmuebles.

Los GAD estudiados también deben trabajar en conjunto para hacer una planificación estratégica en la que hagan campañas de socialización del riesgo volcánico y se programe la construcción de albergues ya que en este proyecto se cuantificó el daño y pérdida de bienes inmuebles sin embargo no se tomó en cuenta el factor humano.

Es importante estudios de suelo que permitan normar el número de pisos que puede tener una construcción en la zona.

Se debe tomar en cuenta el presupuesto con el que cuentan los GAD para una planificación óptima del territorio, considerando el riesgo, a fin de que puedan realizar proyectos de mitigación de impactos negativos o gestionar el plan de uso y ocupación del suelo.

Al Instituto Geográfico Militar que es la autoridad encargada, generar un catálogo de objetos oficial en escalas grandes o nivel predial, ya que la más detallada que se puede encontrar está a escala 1:5000, con el que se pueda proponer una normativa para la elaboración de cartografía.

### 5.3. Referencias Bibliográficas

- Andrade, D., Hall, M., Mothes, P., Troncoso, L., Eissen, J. P., Samaniego, P., . . . Yepes, H. (2005). *Los Peligros Volcánicos asociados con el Cotopaxi. Serie: Los peligros volcánicos en el Ecuador*. Corporación Editora Nacional. IG-EPN e IRD.
- Arcgis. (17 de 11 de 2018). *Arcgis for desktop*. Obtenido de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/topologies/topology-in-arcgis.htm>
- Arias, J., & Bolaños, H. (2018). *Generación de un modelo de inundación del río pita identificando puntos críticos formados por la sedimentación, precipitaciones máximas y eventuales erupciones del volcán Cotopaxi, tramo Santa Teresa-San Rafael*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas- Carrera de Ingeniería Geográfica y Medio Ambiente.
- Asamblea, P. (2016). Ley orgánica de Ordenamiento Territorial, uso y gestión de Suelo. *Constitución del Ecuador*, art 24 y 264.
- Campaña, D. (2016). *Estudio multitemporal del mercado inmobiliario en el valle de los Chillos*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE- Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente.
- Carrillo, L. (2013). Simulación de lahares del volcán Cotopaxi en sus drenajes del lado norte con el uso del programa Hec-Ras. *Bachelor's thesis ESPE*.
- CHCM. (01 de diciembre de 2018). *Ciclo Hidrológico*. Obtenido de <https://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>
- Cisneros, J., & Díaz, E. (2016). *Diseño de una obra de mitigación ante el flujo de los lahares del volcán Cotopaxi que confluyen al río Pita en el cause norte sectpr La Caldera*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas - Carrera de Ingeniería Civil.
- civil, S. d. (septiembre de 2015). *secretaría de protección civil* . Obtenido de <https://seprosicamp.wordpress.com/fenomenos-hidrometeorologicos/>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Ciudad Alfaró. Asamblea Costituyente.

- CRAHI. (junio de 2016). *Centro de investigación aplicado en hidrometeorología*. Obtenido de [http://www.crahi.upc.edu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=56&Itemid=88&lang=es](http://www.crahi.upc.edu/index.php?option=com_content&view=article&id=56&Itemid=88&lang=es)
- DMC, D. M. (2016). Norma Técnica Para la Valoración de Bienes Inmuebles del Distrito Metropolitano de Quito. *Norma Técnica*, 7-8.
- DMQ, M. (12 de marzo de 2003). *Municipio del DMQ*. Obtenido de [http://www7.quito.gob.ec/mdmq\\_ordenanzas/Ordenanzas/ORDENANZAS%20A%C3%91OS%20ANTERIORES/ORDZ-008%20-%20PUOS%20-%20PLAN%20DE%20USO%20Y%20OCUPACION%20DEL%20SUELO.pdf](http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Ordenanzas/ORDENANZAS%20A%C3%91OS%20ANTERIORES/ORDZ-008%20-%20PUOS%20-%20PLAN%20DE%20USO%20Y%20OCUPACION%20DEL%20SUELO.pdf)
- ESRI. (s.f.). *ARCGIS resources*. Obtenido de <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n000000s000000.htm>
- FAO. (19 de Noviembre de 2018). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Obtenido de <http://www.fao.org/in-action/territorios-inteligentes/componentes/ordenamiento-territorial/introduccion/es/>
- Felicísimo, A. (01 de enero de 1994). *Universidad de Oviedo*. Obtenido de <http://www6.uniovi.es/~feli/pdf/libromdt.pdf>
- Fernandez, M., Arzadun , B., & Naiara , A. (2007). *Portal de desarrollo urbano local*. Obtenido de [http://www.dhl.hegoa.ehu.es/iedl/Materiales/19\\_Evaluacion\\_economica.pdf](http://www.dhl.hegoa.ehu.es/iedl/Materiales/19_Evaluacion_economica.pdf)
- Fiorito, F. (2006). *La Simulación como una herramienta para el manejo de la incertidumbre*. Universidad del CEMA.
- GAD, U. (agosto de 2012). *Plan de Desarrollo y y Ordenamiento territorial de Uyumbicho*. Obtenido de <http://sni.gob.ec/planes-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial>
- García , M., Sánchez, F., Marín, R., Guzmán , H., Verdugo, N., Domínguez, E., . . . Panizzo, L. (1998). *El agua*. Colombia.
- González, C. (2005). *Sedimentación*. Puerto Rico: Recinto Universitario de Mayaguez.
- GRIHM. (18 de noviembre de 2018). *Grupo de Investigación en Hidrometeorología*. Obtenido de [https://grihme.webs.ull.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=44&Itemid=28](https://grihme.webs.ull.es/index.php?option=com_content&view=article&id=44&Itemid=28)
- IGN. (2008). *Instituto Geográfico Nacional*. Obtenido de <http://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Ocupacion-Suelo.pdf>
- INEGI. (s.f.). *Instituto Nacional de Estadística y Censo*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>

- Instituto Geofísico. (16 de Agosto de 2015). *Crónicas de la erupción del volcán Cotopaxi* .  
Obtenido de <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1376-cronicas-de-la-erupcion-del-volcan-cotopaxi-2015>
- Lahsen. (1985). *Recomendaciones para la construcción y la reducción de seastres*. Obtenido de <https://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/pdf/spa/doc58/doc58-3.pdf>
- Microsoft. (18 de 11 de 2018). *Arcgis for desktop*. Obtenido de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/topologies/topology-in-arcgis.htm>
- Moreira, L. (2017). *Potencial vulnerabilidad física de los sistemas de agua potable, facilidades hidrocarburíferas y el sistema nacional interconectado expuestos a lahares del volcán Cotopaxi en el drenaje norte*. Quito: Universidad Central del Ecuador - Carrera de Ingeniería en Geología.
- Niño, Y. (2005). *Hidráulica Fluvial y Transporte de Sedimentos*. Santiago de Chile.
- Ordóñez, J., Samaniego, P., Mothes, P., & Schilling, S. (2013). *Las potenciales zonas de inundación por lahares en el volcán Cotopaxi*. Instituto Geofísico - Escuela Politecnica Nacional.
- Pérez, L. (2005). *Teoría de la sedimentación*. Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- QGIS. (s.f.). *Documentación de QGIS 2.8*. Obtenido de [https://docs.qgis.org/2.8/es/docs/gentle\\_gis\\_introduction/raster\\_data.html](https://docs.qgis.org/2.8/es/docs/gentle_gis_introduction/raster_data.html)
- QGIS. (s.f.). *Documentación de QGIS 2.8*. Obtenido de [https://docs.qgis.org/2.8/es/docs/gentle\\_gis\\_introduction/vector\\_data.html](https://docs.qgis.org/2.8/es/docs/gentle_gis_introduction/vector_data.html)
- SCRIBD. (19 de Noviembre de 2018). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/283583234/Que-Es-La-Hidrometeorologia>
- Solís, J. (07 de mayo de 2007). *Universidad de las Américas Puebla*. Obtenido de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/mgc/solis\\_m\\_j/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgc/solis_m_j/capitulo4.pdf)
- UNESCO. (2010). *Procesos de erosión- sedimentación en causas y cuencas*. Francisco Balocchi: Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 22.
- Villodas, R., & Segerer, C. (2006). *Red Interamericana de Recursos Hídricos*. Obtenido de <http://www.conosur-rirh.net/ADVF/documentos/hidro1.pdf>