

Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales, de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la zona urbana de la ciudad de Ambato – Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes.

Tesis presentada para obtener el título de Máster en Planificación Territorial y Gestión Ambiental

Francisco Alejandro Acosta Araujo

Director de Tesis: Justino Losada

Universidad de Barcelona
Máster en Planificación Territorial y Gestión Ambiental
Facultad de Geografía e Historia

Índice

| | |
|---|-----|
| Dedicatoria..... | 4 |
| Agradecimiento..... | 4 |
| Introducción | 5 |
| Justificación | 7 |
| Objetivos | 11 |
| Preguntas de Investigación | 12 |
| Metodología | 14 |
| Estado de la Cuestión..... | 16 |
| Caracterización del área de estudio..... | 25 |
| Marco Teórico..... | 43 |
| Análisis y desarrollo del caso de estudio | 73 |
| Resultados y Discusión | 122 |
| Conclusiones y Recomendaciones | 127 |
| Bibliografía | 131 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Ficha de paisajes relativos al área de estudio | 38 |
| Tabla 2. Tipos de movimientos de tierra y características..... | 51 |
| Tabla 3. Clasificación y características de las velocidades de los movimientos | 51 |
| Tabla 4. Tipos de movimientos relacionados con las estructuras..... | 72 |
| Tabla 5. Mosaico fotográfico de las viviendas cercanas al río Ambato | 77 |
| Tabla 6. Promedio de Cargas | 104 |
| Tabla 7. Calificación e influencia de factores en deslizamientos | 112 |
| Tabla 8. Resultados de causas de eventos de deslizamientos en Ambato entre el 2013-2018 | 117 |
| Tabla 9. Superficie de áreas de vulnerabilidad | 122 |

ÍNDICE DE IMÁGENES

| | |
|--|----|
| Imagen 1. Crecimiento poblacional de Ambato - Ecuador..... | 8 |
| Imagen 2. Esquema y clasificación del inventario ambiental de Ambato - Ecuador | 27 |
| Imagen 3. Modelo de esquema de HRVI..... | 47 |
| Imagen 4. Cuadro de número de desastres por año en USA..... | 49 |
| Imagen 5. Ilustración de movimiento rotacional | 52 |
| Imagen 6. Ejemplo de características del suelo | 55 |
| Imagen 7. Comportamiento de partículas del suelo..... | 55 |
| Imagen 8. Factores de vulnerabilidad de un talud | 57 |
| Imagen 9. Rango de velocidades de deslizamientos | 58 |
| Imagen 10. Deslizamientos Rotacionales | 60 |
| Imagen 11. Movimientos Traslacionales | 60 |
| Imagen 12. Movimiento de Reptación..... | 61 |
| Imagen 13. Licuefacción del Suelo..... | 62 |
| Imagen 14. Compensación de cargas..... | 64 |
| Imagen 15. Mallas de contención | 64 |
| Imagen 16. Geotextiles | 64 |
| Imagen 17. Muros de contención..... | 64 |
| Imagen 18. Drenajes | 64 |
| Imagen 19. Capas de información de los SIG..... | 65 |
| Imagen 20. Comparación de formato Ráster y Vectorial | 66 |
| Imagen 21. Mapa de intensidad Sísmica del Ecuador | 68 |
| Imagen 22. Factor Z de aceleración del suelo en el Ecuador..... | 69 |
| Imagen 23. Tipo de Suelo de acuerdo a la NEC 2015, Ecuador..... | 69 |
| Imagen 24. Valor agregado bruto de la provincia de Tungurahua por cada sector | 75 |
| Imagen 25. Selección de categorías para mapa AFC..... | 83 |
| Imagen 26. Valores Catastrales Georreferenciados | 85 |
| Imagen 27. Ejemplo de cálculo de pendiente | 87 |
| Imagen 28. Captura de fuente de datos satelitales | 89 |
| Imagen 29. Generación de curvas de nivel a través de un MDT | 89 |
| Imagen 30. Generación de un modelo TIN..... | 90 |
| Imagen 31. Generación de un modelo Ráster | 90 |
| Imagen 32. Generación de pendientes | 91 |

| | |
|--|-----|
| Imagen 33. Clasificación de pendientes de acuerdo al IGM - Ecuador..... | 91 |
| Imagen 34. Clasificación de pendientes a utilizarse | 92 |
| Imagen 35. Pendientes transformadas a formato SHP..... | 92 |
| Imagen 36. Simbolización de pendientes de acuerdo a colores representativos..... | 93 |
| Imagen 37. Tabla de ecuaciones hidrometeorológicas de Ambato..... | 95 |
| Imagen 38. Mapa hidrométrico del Ecuador para tiempos de retorno de 25 años..... | 96 |
| Imagen 39. Determinación de la dirección del flujo en área de análisis..... | 98 |
| Imagen 40. Determinación de acumulación del flujo en área de análisis | 99 |
| Imagen 41. Reclasificación de la acumulación del flujo | 99 |
| Imagen 42. Ráster de Índice de Erosividad y reclasificación | 99 |
| Imagen 43. Clasificación del índice de erosividad del suelo | 101 |
| Imagen 44. Modelado tridimensional de vivienda tipo de Ecuador | 102 |
| Imagen 45. Aplicación de cargas a vivienda | 102 |
| Imagen 46. Cargas aplicadas sobre el suelo por la vivienda tipo | 103 |
| Imagen 47. Referencia de capacidad del Suelo | 106 |
| Imagen 48. Selección del tipo de suelo..... | 106 |
| Imagen 49. Asignación de características del suelo..... | 107 |
| Imagen 50. Tabla de coeficiente sísmico horizontal..... | 107 |
| Imagen 51. Representación de Vulnerabilidad | 111 |
| Imagen 52. Ponderación del factor socioeconómico | 112 |
| Imagen 53. Ponderación del factor de densidad poblacional..... | 113 |
| Imagen 54. Ponderación del factor del Uso del Suelo | 113 |
| Imagen 55. Ponderación del factor de la Aptitud Constructiva del Suelo | 113 |
| Imagen 56. Ponderación del factor de los Valores Catastrales del Suelo | 113 |
| Imagen 57. Ponderación del factor pendiente..... | 114 |
| Imagen 58. Ponderación del Factor Hidrológico y erosivo del suelo | 114 |
| Imagen 59. Ponderación del factor de influencia de las cargas sobre el suelo | 114 |
| Imagen 60. Ponderación del factor de la estabilidad de talud..... | 115 |
| Imagen 61. Selección por atributos..... | 117 |
| Imagen 62. Asignación de calificaciones por capa Ráster..... | 119 |
| Imagen 63. Capas Ráster finales Superpuestas..... | 120 |
| Imagen 64. Asignación de pesos, grado de influencia y calificación de capas | 120 |

Dedicatoria

A Dios, a la Virgen de los Dolores, y a mi familia. TotusTuus.

Agradecimiento

A mi esposa Estefy, por acompañarme en todo el proceso de esta investigación, y principalmente por ser el apoyo y soporte fundamental a lo largo de este camino que construimos juntos; a mis padres Julio y Lucy, por guiarme, acompañarme y apoyarme en todo mi proceso formativo, profesional y personal con su amor y cariño, y a mi hermana Ariana, por siempre tener un gran corazón y alegría, con los cuales me anima siempre a levantarme y seguir luchando; y a mi tutor de TFM, Justino Losada por el apoyo y las enseñanzas y conocimientos impartidos en estos meses, que fueron de suma utilidad para mi formación profesional.

Alejandro Acosta

Introducción

La problemática de los desastres naturales significa una materia de estudio y profundización por parte de las diferentes ramas académicas, debido a que se involucran aspectos meramente técnicos, porque se encuentran inmersos fenómenos geofísicos, pero inminentemente éstos tienen su incidencia en la población, ya que se encuentra íntimamente ligados, por la utilización de recursos y asentamientos residenciales y con fines productivos. Específicamente los peligros que posteriormente se transforman en riesgos y desastres naturales, con respecto a los deslizamientos, han causado a lo largo de las décadas pérdidas billonarias significativas en materia económica, y más aún se han perdido muchas vidas humanas (Hyndman & Hyndman, 2010). Este tema se ha visto como una problemática de gran parte de los países del mundo, sin embargo, por las condiciones geomorfológicas existentes en el continente americano, al igual que por la gran actividad sísmica. Específicamente en Latinoamérica, hay muchos países considerados en “vías de desarrollo”, y a los cuales también han afectado los deslizamientos, incluso con una mayor afección; especialmente por las dificultades en la asignación de presupuesto para prevenir y mitigar estos eventos (Ganderton, *Benefit-Cost Analysis of Disaster Mitigation: Application as a Policy and Decision-Making Tool*, 2005), y también por la deficiente planificación territorial/urbana, lo que ha generado una saturación de los asentamientos residenciales (lícito e ilícitos) en sitios que representan un gran riesgo, y se han producido de forma desorganizada. El Ecuador no es la excepción y específicamente mencionando a la ciudad de Ambato, la cual es objeto de estudio, se encuentra asentada y desarrollada en la Cordillera de los Andes, que como es muy conocido, presenta accidentes topográficos significativos, por los constantes movimientos y cambios que sufren las placas tectónicas. Desde hace muchos años, la ciudad de Ambato-Ecuador se ha caracterizado por tener una distribución urbana de acuerdo a la morfología y orografía de la superficie en la cual se implanta; ésta al poseer diferentes características y accidentes topográficos, acompañado del avance paulatino del nivel económico y por lo tanto social, tiene la cualidad de poseer viviendas y edificaciones adaptadas a la superficie del terreno; muchas de ellas realizadas bajo normas y parámetros técnicos que exige cada administración del Estado; pero muchas otras se han visto también implantadas de forma ilegal e informal, en sitios topográficos calificados como de “alto riesgo” debido a su vulnerabilidad ante eventos o solicitaciones que se asocian a riesgos naturales; que como todos sabemos, no se puede predecir su ocurrencia o su magnitud. Esta característica y tipología de la ciudad de Ambato, adaptada, construida de acuerdo a su relieve, ha generado que en muchas ocasiones se presenten grandes pérdidas materiales y humanas

debido a desastres ocurridos, ya sea por fuertes precipitaciones que originan y facilitan los movimientos en masa, crecidas de cursos hídricos superficiales (sobre todo el Río Ambato), inundaciones, entre otras; el presente estudio pretende realizar un análisis, con el fin de indagar las causas reales de esta problemática, la situación actual, y sus consecuencias potenciales. Cabe mencionar que la ciudad de Ambato cuenta con un Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial que fue realizado en el año 2009, en éste documento se menciona claramente en el Art. 66 que las quebradas o laderas se consideran como suelo no urbanizable, y se encuentran catalogadas como zonas verdes objeto de regeneración y protección (Ilustre Municipalidad de Ambato, 2009), sin embargo, existe un acápite en el cual ciertas quebradas o laderas de la ciudad serán objeto de análisis para una posible edificación una vez cumplidos los parámetros técnicos estipulados en el Gobierno Autónomo Descentralizado de la ciudad de Ambato; lamentablemente en la urbe no existe una gestión y control en relación a este tema; en casos de posibles riesgos naturales existen planes de contingencia por parte de entidades públicas como la Secretaría de Gestión de Riesgos o el Consejo Municipal de Seguridad Ciudadana de Ambato, pero que muchas veces no se aplican. Un factor importante a tomarse en cuenta en este estudio es el aspecto y el ámbito social del análisis; la calidad de vida de las personas en la mayor parte de países de Latinoamérica se ve mermada por el ámbito económico; se analizarán los servicios que poseen las familias que habitan en este tipo de viviendas, cuál es la problemática central en la que se ven inmersas; los antecedentes y probables procesos de participación o planes de gestión organizados por el Estado, con el fin de prevenir o al menos mitigar la gravedad de los daños que puedan ocurrir en caso de una catástrofe natural. Se toman en consideración las principales quebradas y laderas de la zona urbana de la ciudad de Ambato; se realizarán observaciones y entrevistas in situ, además de la utilización de Sistemas de Información Geográfica y software de simulaciones para aplicaciones técnicas de ingeniería, con el fin de obtener variables de importante consideración que permitan generar los resultados y conclusiones esperados en la investigación.

Justificación

El presente trabajo encuentra su justificación, bajo el hecho en el que la morfología de la ciudad reúne características que de una u otra forma facilitan la ocurrencia de desastres naturales, y el más propenso a ocurrir o desencadenarse por factores externos, que ya sean lluvias torrenciales o sismos, son los movimientos de tierra o deslizamientos, que por la tipología y pendiente de las laderas y quebradas de la ciudad Ambato, forman parte de un riesgo inminente para muchas construcciones que se encuentran presentes en sitios considerados con alto grado de vulnerabilidad; lo importante en la investigación es involucrar también, en qué proporción se encuentra inmerso el componente social, ya que se puede limitar a un solo campo académico, el estudio de los riesgos, porque estos no existirían, de no ser por el nivel de exposición de muchas personas, y más aún si tienen que convivir día a día con cierto grado de “preocupación” o miedo ante el desencadenamiento de un evento de este tipo, lo que nos lleva a concluir que existen muchas razones para aunar en un análisis y estudio profundo de las variables que intervienen en esta problemática, y necesariamente debe estar incluido el ámbito sociológico u antropológico, el cual otorga un mayor grado de comprensión integral del contexto en el que se desarrolla (Cutter, 2001).

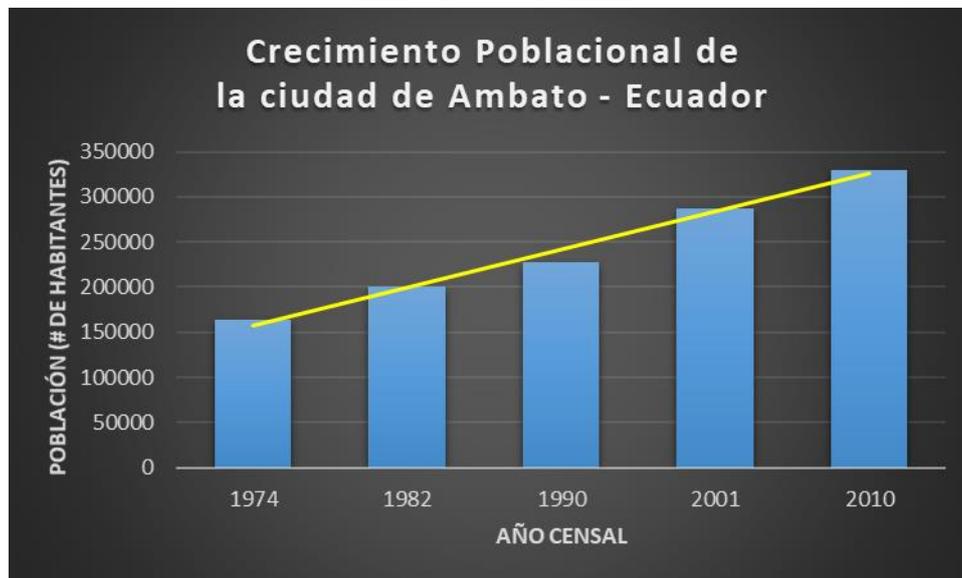
Se debe partir realizando una diferenciación básica entre los conceptos, de peligro, riesgo, desastre y vulnerabilidad; ya que estos tienden a confundirse y relacionar su concepto entre sí; el riesgo es la probabilidad de ocurrencia de un evento, el peligro es el impacto que, en caso de ocurrir generaría el riesgo, y el desastre es el evento existente que ya tuvo incidencia directa en las personas o infraestructuras (Cutter, 2001).

De forma general se puede decir también que este tipo de casos, representan una dificultad para muchas otras ciudades del Ecuador, especialmente aquellas que se asientan en la Región Sierra en donde está presente la Cordillera de los Andes; quizás el caso más parecido o con incluso mayores consecuencias en los últimos 20 años, sea el de la ciudad de Quito, en donde la sobreexplotación del suelo, y un desordenado uso del mismo, han generado que las quebradas de la ciudad se vean sobrepobladas, causando así ya muchas pérdidas económicas a bienes y patrimonio y por supuesto pérdidas humanas (Willems & Navarrete, 2002).

Ambato, es una ciudad característica por su comercio, e industrialización, lo que ha generado que sea un punto central en el Ecuador, para el avance económico; a inicios del siglo XXI, diferentes empresas emplazaron su centro de operaciones en la ciudad, y esto causó un impacto de forma directamente proporcional en el crecimiento económico de la ciudad, en su

tecnificación de elaboración de productos; transformación de las actividades agrícolas a comerciales y de igual manera dio origen a una metamorfosis en el campo constructivo de Ambato, ya que el número de habitantes de la ciudad fue creciendo de una manera geométrica (INEC, 2010), tal y como se muestra en el siguiente gráfico:

Imagen 1. Crecimiento poblacional de Ambato - Ecuador



Fuente: INEC, 2010

Elaborado Por: El Autor.

Los desastres naturales, siendo consecuencia directa de la activación de un peligro natural con incidencia en la población, se hacen mucho más latentes en el presente que en décadas anteriores (Cutter, 2001), las principales influencias para la ocurrencia de este tipo de desastres son: la progresiva deforestación, la ocupación marginal del suelo, y el crecimiento urbanístico descontrolado (McGuire, Mason, & Kilburn, 2002). Este crecimiento poblacional genera un impacto en el sector constructivo, y específicamente en la demanda de viviendas por parte de la población actual; sin embargo, dicha demanda muchas veces ha sido objeto de construcciones ilegales, en sectores no convencionales como laderas o también llamadas “quebradas”, valles cercanos al río, y zonas vulnerables y propensas a erosión, esto se ha visto como consecuencia debido a dos aspectos principales: la deficiente planificación territorial y ordenamiento urbano en la ciudad, y la desigualdad de ingresos económicos de muchos agricultores, campesinos, e inmigrantes de otras ciudades que se mudan a la ciudad de Ambato, y generalmente no poseen los ingresos económicos necesarios y recurrentes para construir o comprar una vivienda de forma técnica y legal; esto conlleva a que este segmento llegue a construir de manera ilícita, sin un permiso constructivo, y bajo técnicas constructivas muy empíricas y artesanales; sin embargo, lo más riesgoso de esta práctica es que han realizado las

construcciones de sus viviendas en sitios de alto riesgo, ante lo cual las edificaciones llegan a ser vulnerables frente a la ocurrencia de un posible desastre natural.

El Ecuador es un país que se ha caracterizado por ubicarse geográficamente en una zona del continente de alto riesgo, ya que en toda su historia, la población de las distintas regiones han afrontado, lluvias torrenciales que han dado origen a desbordamientos de ríos que concluyen en inundaciones, erupciones volcánicas, terremotos y consecutivamente maremotos; específicamente la ciudad de Ambato se encuentra en la región Sierra, y esta se implanta en gran parte de la cordillera de los Andes, esto suscita que el relieve en el cual se emplaza la ciudad posea distintos accidentes geográficos que alteran severamente su topografía, dando origen principalmente a laderas y quebradas.

Las laderas se pueden definir como aquellas porciones del terreno, características por poseer pendientes en los lados inclinados de una montaña o formación topográfica, las mismas se encuentran expuestas a sufrir ciertos procesos gravitacionales o también llamados deslizamientos de tierra que se desplazan hacia abajo o hacia el exterior (Alcántara Ayala, 2000) los cuales dependen de múltiples factores y variables como, el tipo de formación geológica, su topología, las precipitaciones en la zona y su sismicidad, entre otros. De acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015), la ciudad de Ambato se encuentra en una zona de alta sismicidad, lo que se suma como un factor más, para potenciar el riesgo al que se encuentran expuestas las construcciones antes descritas; como una variable adicional dentro del presente trabajo de investigación, se realizará un análisis de las causas, consecuencias y del impacto social generado que se relaciona con la problemática fundamentada en párrafos anteriores.

La presente investigación se centra en la zona urbana de la ciudad de Ambato, mediante un análisis exhaustivo de las parroquias que la conforman, en donde la problemática se ha acentuado de forma exponencial en la última década, incluso con la ocurrencia de un determinado número de desastres naturales que han cobrado vidas humanas, y daños cuantiosos a estructuras. Cabe recalcar que un factor preponderante es la planificación de la ciudad de Ambato, y el presente estudio y análisis también encuentra su justificación ya que, la ciudad carece de una planificación actualizada, el último documento referente a ello se realizó en el año 2009, otorgando diferentes directrices que se acondicionaban a la realidad de aquel año, sin embargo, la ciudad ha evolucionado de una manera grande, y se ha expandido hacia diferentes latitudes y ante la problemática actual suscitada no se pueden aplicar las mismas

normas y medidas planteadas bajo la óptica de un documento que no se encuentra actualizado, y más aún al no poseer infografía o mapas que delimiten las zonas de riesgo; cabe mencionar también que será importante dentro del presente trabajo, analizar el modelo de gestión y planificación que se ha estado manejando por parte de la Municipalidad de Ambato, debido a que, existen también construcciones en laderas que bajo simple observación, se encuentra en riesgo latente por sus simples configuraciones estructurales, al igual que por las características de la ladera y los factores que afectan su estabilidad; estas construcciones se han constituido de manera lícita, bajo todos los permisos otorgados por la Municipalidad de la ciudad, por ende se pretende analizar, varios aspectos, referente al modelo de gestión y control que maneja esta entidad, y la cual tiene un grado de responsabilidad a nivel político - administrativo de manera directa o indirecta, en la problemática mencionada.

El motivo principal de esta tesis de maestría, es el de analizar bajo una perspectiva técnica y social, todos los aspectos inherentes a la vulnerabilidad a la que se encuentran expuestas las estructuras implantadas en quebradas y laderas y sus habitantes, frente a posibles riesgos naturales; esto bajo la sistematización y la articulación de los resultados obtenidos, en función a la recopilación de información y recolección de datos, mediante el uso de sistemas de información geográfica, observación in situ, modelos realizados en programas de ingeniería, encuestas y gestión documental; todo ello con la finalidad de establecer conclusiones, y posibles recomendaciones o medidas de mitigación referentes a la problemática.

Finalmente, considero que la presente investigación es importante, dentro del contexto físico y socioeconómico en el que se realiza, debido a que a partir de este análisis, se pueden deducir varios parámetros a nivel de muchas ciudades del Ecuador y de Latinoamérica, que conllevarían a tomar acciones que permitan la implementación medidas a nivel de ordenamiento y control territorial; así como de una representación actualizada de los riesgos y vulnerabilidad de viviendas presentes en las zonas urbanas de una ciudad con características como las ciudad de Ambato (geomorfología irregular y acción sísmica) y lograr calificar y cuantificar los factores reales que inciden en los deslizamientos y su real afección a las viviendas expuestas a esta amenaza, junto con los factores inmersos a nivel físico y socioeconómico, y ver cómo y cuánto influye el aspecto social en un desastre natural.

Objetivos

General

- Analizar la vulnerabilidad de las edificaciones y viviendas características, construidas en las principales laderas y quebradas de la zona urbana de la ciudad de Ambato – Ecuador, frente a posibles riesgos naturales.

El objetivo principal tiene el propósito de que al final de la investigación, aplicando la metodología propuesta, se lleguen a establecer conclusiones después de un exhaustivo análisis de los resultados obtenidos, estos marcarán la tendencia y el sentido ante las cuales deben ir enmarcadas posibles recomendaciones o actuaciones, desde un punto de vista técnico y paralelamente bajo la óptica del ordenamiento territorial, ya que en este objetivo se enmarcan diferentes disciplinas, las cuales pretenden ser abordadas, con el propósito de conjugarlas de manera eficaz, y así obtener propuestas y recomendaciones factibles y apegadas a la realidad de la ciudad de Ambato.

Específicos

- Analizar el sistema de gestión referente a las normas de uso del suelo, y planificación urbana, que existe en la ciudad de Ambato, regentado por la Municipalidad de Ambato, y la Secretaría de Gestión de Riesgos zona 3.

Este objetivo se realiza con el propósito de conocer con mayor profundidad, cómo funciona el sistema de gestión frente a la problemática presentada, y qué medios y documentos utilizan las entidades mencionadas, para realizar un control de ordenamiento y planificación urbana.

- Realizar mapas cartográficos, mediante los cuales se puedan representar índices y variables inherentes al estudio, que puedan facilitar la comprensión y el procesamiento de datos.

Se elaboran mapas cartográficos, basados en sistemas de información geográfica, en concordancia con imágenes satelitales de la web, con el fin de realizar unas primeras aproximaciones a la realidad de la problemática, y posteriormente, dichos mapas serán complementados de acuerdo a la observación in situ, e investigación en campo.

- Efectuar modelos computacionales de ingeniería, que favorezcan el análisis de variables, relacionadas con la capacidad y resistencia de las viviendas y sus estructuras complementarias, frente a la ocurrencia de un desastre natural.

Se generarán modelos computacionales en programas para ingeniería, en donde se realicen iteraciones bajo diferentes escenarios posibles a ocurrir, de los objetos de la investigación (laderas y estructuras), con la finalidad de que en las propuestas y recomendaciones se generen acciones que resulten eficaces frente a los escenarios más adversos.

- Diagnosticar el impacto a la calidad de vida de las familias que habitan en viviendas mayormente vulnerables frente un riesgo natural en la ciudad de Ambato.

Dentro del análisis se pretende hallar las consecuencias sociales que se han generado en la población inmersa en la investigación, y esto es llegar a determinar el impacto a su calidad de vida.

Preguntas de Investigación

- ¿Por qué existe un grado de vulnerabilidad frente a un peligro natural en las viviendas construidas en laderas o quebradas de la ciudad de Ambato?

En torno a la ciudad de pueden constatar viviendas que pueden tener un grado mayor o menor de susceptibilidad o vulnerabilidad frente a un peligro natural, específicamente hablando de los deslizamientos; debido a esta posibilidad se encuentran inmersos varios factores intrínsecos del lugar y de igual forma factores constructivos y estructurales.

- ¿Debido a qué factores el sistema de gestión y control de riesgos de la ciudad de Ambato debería tomar acciones para prevenir el impacto de un desastre o al menos mitigarlo?

La Secretaría de Gestión de Riesgos, debería analizar los datos estadísticos de los desastres ocurridos en la última década en la ciudad de Ambato, e incurrir en el “porqué” suceden con mayor frecuencia y gravedad los deslizamientos en la ciudad de Ambato, antes que, en otras ciudades con similares características, esto tendría como consecuencia una actuación en materia de un mayor control y gestión de cara a este tipo de eventos

- ¿Cuáles son las variables principales que inciden o facilitan la ocurrencia de los deslizamientos en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato?

Mediante un análisis multicriterio, en el que se puedan utilizar métodos técnicos – analíticos, se puede conjugar de una manera más eficaz la información obtenida mediante diferentes fuentes y técnicas, lo que conllevará a una representación del análisis y los resultados de formas más entendibles que permitan llegar a una conclusión que abarque las variables más importantes que intervienen en el estudio.

- ¿Por qué la planificación urbana juega un papel importante dentro de la susceptibilidad y vulnerabilidad de las familias que han construido sus viviendas cerca de laderas o quebradas en la zona urbana de la ciudad de Ambato?

Debido a que la investigación involucra aspectos de planificación territorial, peligros naturales, y su incidencia en la vida de las personas, debe existir una integración de conceptos para que finalmente, se pueda obtener una idea clara del verdadero impacto en la calidad de vida de las personas y sus viviendas involucradas en el estudio, este tiende a ser un factor interesante ya que se hallarán involucradas características de las viviendas de acuerdo al estrato social de las personas, lo cual, en caso de suceder, marcaría un factor de “quiebre” importante, para los estudios geográficos de la ciudad.

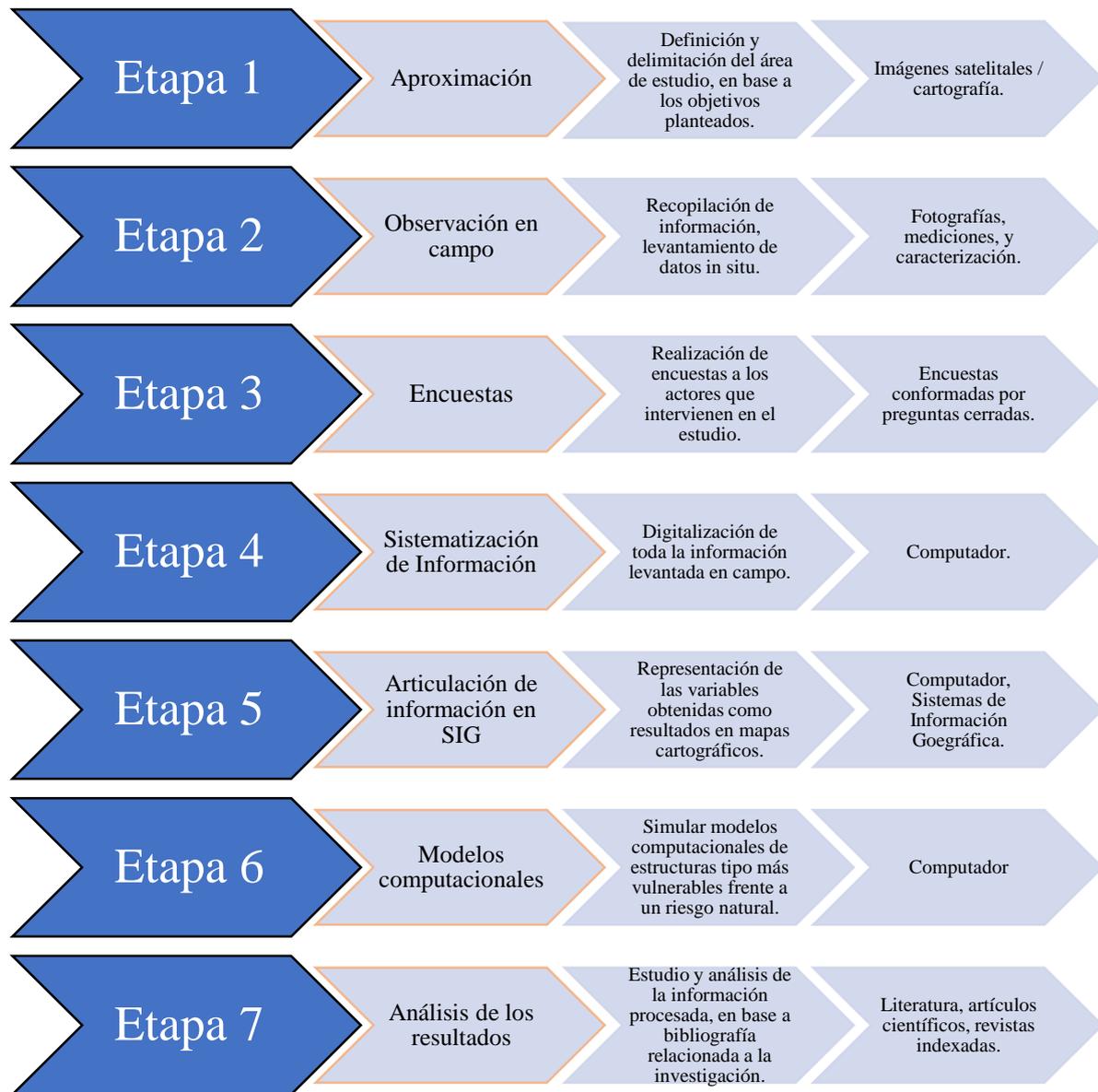
Metodología

El presente trabajo de investigación se basa en la aplicación de una metodología cuantitativa, al tener como eje principal, la recopilación y manejo de datos relacionados con diferentes variables que se encuentran inmersas en la problemática, también cuenta con un punto de partida determinado y un sentido claro y marcado de hacia dónde se dirige el objetivo principal de la investigación. Se obtendrán valores cuantificables, y que faciliten su representación y comprensión mediante gráficos y cartografía que permitirá identificar patrones, porcentajes, y datos procesados que marquen las características principales del análisis en cuestión, y posteriormente se generarán conclusiones, a partir de la sistematización de los resultados obtenidos.

La metodología seleccionada se regirá a un orden lógico, debido a que, este trabajo además de manejar datos, pretende descubrir la relación entre la dinámica espacial de la ciudad, y la muestra que marque el comportamiento principal de las personas que habitan en laderas de la ciudad de Ambato; al existir componentes de índole más técnica, se realizará primero un análisis espacial a través de cartografías, mapas y sistemas de imágenes satelitales, que facilitarán la demarcación de un área en la cual se podrá empezar la investigación de campo, ésta sería la siguiente técnica a aplicarse, con la finalidad de levantar información y datos necesarios para el análisis y estudio, inmerso en este punto se aplicarán también encuestas a los actores que intervienen en el estudio (familias que habitan en viviendas implantadas en laderas o quebradas de la zona urbana de la ciudad de Ambato), ya que esta estrategia permitirá posteriormente sacar resultados bajo métodos estadísticos, y así poder determinar cuáles son los aspectos principales que han inferido en su calidad de vida, y en qué proporción.

Una vez recopilados los datos in situ, se procederá a realizar un trabajo meramente en gabinete, y aquí es cuando se realizará primeramente la sistematización de los datos mediante el uso de un computador, esto con el objeto de que, en el momento del análisis de los mismos, sea más sencilla su comprensión, se realizarán gráficos que posteriormente permitirán la representación de resultados en mapas cartográficos, realizados mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, y finalmente se conjugará toda la información obtenida con los modelos computacionales que puedan reflejar el riesgo de estructuras tipo, que se hallaron en el levantamiento en campo, analizar sus puntos débiles, para que en la propuesta del estudio se puedan plantear recomendaciones que sean direccionadas a prevenir o mitigar el alcance de un desastre natural.

A continuación, se presenta un diagrama que resume el orden lógico de aplicación, de las técnicas descritas anteriormente, concernientes a la metodología cuantitativa seleccionada.



Estado de la Cuestión

Los riesgos naturales se presentan como un concepto que se ha venido manejando desde aproximadamente 50 años atrás, su incidencia en varios países del mundo ha tenido mayor o menor alcance, hablando específicamente de su relación con la planificación territorial y el ordenamiento urbano, en la última década se ha venido dando un mayor realce a las dos disciplinas como un conjunto; ya que se ha deducido que claramente la una puede llegar a ser consecuencia de la otra y viceversa. Por otro lado, también se ha llegado a mencionar el concepto de “desastre natural”, claramente diferenciado del concepto de “riesgo natural”, ya que el primero se puede describir como una consecuencia del riesgo, a medida del daño que ha generado en función a las pérdidas humanas y a las pérdidas materiales.

Todo ello ha causado que ámbitos del conocimiento como la planificación territorial, la gestión ambiental, la ingeniería civil, la hidrología, la ingeniería estructural, y la geotecnia, hagan un énfasis especial en llegar a conjugar cada una de sus disciplinas, y convertirlas en una línea de investigación directa que pueda llegar a obtener un punto de vista objetivo de cada rama del conocimiento que pueda aportar a que distintos trabajos de investigación lleguen a explicar el fenómeno de una forma clara y concisa.

La realidad urbanística de cada ciudad en cada país es diferente, sin embargo, el continente Americano tiene en su extensión varios países que políticamente hablando se los ha denominado como “países en vías de desarrollo”, muchos de ellos presentan realidades sociales y económicas variadas, que incluso han ido evolucionando o involucionando con el pasar de los años; además es pertinente mencionar que la mayor parte de la investigación toma como una variable para el estudio, el hecho de que la topografía o el relieve superficial en el que geográficamente se encuentran muchos países, es de índole variada, ya sea con planicies, valles, montañas, accidentes geográficos, fallas geológicas, entre otros; esto genera que el crecimiento urbanístico de una ciudad vaya en función directamente proporcional a su avance socio – económico, y por ende que los asentamientos urbanos en relación a la infraestructura de viviendas o centros de comercio crezcan y se emplacen en donde “el espacio me lo permita”, muchos de estos se construyen en laderas, quebradas, planicies, orillas de cuerpos hídricos superficiales, etc., pero el aspecto fundamental se halla en que las variables principales que intervienen en esta actividad, en ciertas ocasiones se omiten, y esto juega como un agravante frente a un riesgo natural, al que pueden encontrarse expuestas muchas de estas edificaciones; de esta manera, podría plantearse una cuestión y esta sería ¿Cuál es el grado de incidencia de una deficiente planificación urbana, en los desastres naturales que ocurren en países

latinoamericanos? O ¿Qué alcance ha tenido la relación entre el nivel socio-económico y el número de familias afectadas en un desastre natural? y finalmente se tiene la cuestión de ¿Cómo se podría mitigar o prevenir el riesgo, y qué análisis y actuaciones debe aplicarse para realizarlo?

Para el del estado de la cuestión se tomaron en cuenta tres ramas del conocimiento principales (riesgos naturales enfocados en laderas, geomorfología de las ciudades, planificación urbana) con diferentes autores que han realizado investigaciones recientes, desde un aspecto más general, hacia un sentido más concreto; esto muestra que el presente trabajo investigativo encuentra su justificación, frente a las diferentes realidades que se han tornado un problema en ciudades de Latinoamérica, y específicamente en la ciudad de Ambato – Ecuador. De acuerdo a una entrevista realizada al presidente del colegio de arquitectos de la provincia de Tungurahua, por el Diario la Hora en agosto del año 2019, se develó que en la ciudad de Ambato el 70% de las construcciones son informales, es decir que se ejecutaron sin un permiso legal de construcción debidamente emitido por los organismos de control, y no contaron con la dirección técnica de un profesional, ya sea un ingeniero civil o un arquitecto (Diario "La Hora", 2019), esta información permite que se puedan vincular las diferentes líneas de investigación desde una perspectiva más general, hacia cuestiones más concretas, ya sea que éstas se mencionen en relación a la temporalidad y al espacio en donde se desarrollaron.

La investigación realizada por las autoras (Caballero & Sosa, 2015) denominada *Riesgos y morfología urbana: ciudades en planicies y laderas*, devela la importancia de mantener vigente hoy en día los conceptos de riesgos urbanos, ya que esta temática mantiene una relación directa en referencia a las pérdidas humanas y medios de vida, por la alta densificación poblacional, y los asentamientos antrópicos; nuestro trabajo de investigación encuentra su nexo con este estudio, ya que menciona bajo una aproximación generalista, en cómo los desastres naturales ocasionados en algunos países como Chile, Haití o Japón, no pudieron ser controlados en el momento de su ocurrencia, y su incidencia trajo graves consecuencias a nivel país, pero marca una estrecha relación en la mitigación o prevención de los mismos, haciendo hincapié en los cambios sustantivos de uso de suelo y regulaciones en la construcción que deberían realizarse con la finalidad de implantar políticas urbanas que incorporen la prevención de riesgos ambientales, y un aspecto importante que recalcan las autoras, es que, siempre es posible evitar o prevenir un desastre natural, mientras se regule o modifique la relación existente entre el ser humano y la naturaleza; este fundamento es algo que últimamente se ha dejado a un lado en lo referente a la planificación territorial o urbana, y también representa una de los principales

motivos de la investigación; no se puede limitar al ordenamiento urbanístico a algo excesivamente rígido o vinculante restringido por las realidades naturales que existen, pero tampoco se puede subjetivar el uso desmesurado e incontrolado del suelo, a la perspectiva que muchas veces reclaman ciertos grupos humanos o políticos.

Resulta también importante traer a mención el término geomorfometría, que hace referencia a un estudio y análisis cuantificable bajo alguna variable, de la forma de la tierra, sus cambios y evoluciones; un estudio relacionado a dicho término, lo realizaron los autores (Quesada & Barrantes, 2017) bajo una investigación titulada *Modelo morfométrico para determinar áreas susceptibles a procesos de ladera*; esta investigación se localizó en Costa Rica, como uno de los tantos países que atraviesan constantemente movimientos geodinámicos, y se desarrolló bajo la metodología del desarrollo de mapas que describan el comportamiento geomorfológico del área seleccionada; todo esto con la finalidad de que bajo representaciones estadísticas de precisión, el modelo se replique en otros países con características similares, como un punto de partida para implementar acciones en torno a los desastres naturales y al ordenamiento territorial; esto se constituye como un aporte sumamente necesario dentro del marco de la investigación; ya que el hecho de obtener resultados mediante un análisis cuantitativo, viabiliza a que las administraciones puedan invertir en mayores medidas de control y gestión, o en instrumentos como mapas realizados en Sistemas de Información Geográfica, y que sean de uso público.

Los conceptos dentro de la rama de ingeniería, que se han hallado preponderantes para el presente trabajo, fueron tomados de la investigación realizada por los autores (Font, Serra, & Pinto, 1996), en su artículo nombrado como *Los riesgos geológicos en la Ordenación territorial*, este documento resultó de suma consideración, debido al grado de tecnicidad que se maneja en la perspectiva y terminología de la investigación; a pesar de ser un artículo publicado hace mucho tiempo, ha resultado de gran utilidad otros trabajos académicos y científicos; el eje principal de este trabajo hace referencia a los riesgos geológicos según su origen, así estos pueden ser naturales, inducidos o mixtos, de acuerdo a los objetivos planteados en la investigación, esta clasificación se considera como un aspecto a resaltar, ya que la intervención humana, es uno de los factores principales dentro de los asentamientos informales que han surgido a lo largo de los años en países latinoamericanos, por ende, se puede hacer una acepción, en esta etapa de la investigación, a que no todos los desastres son causados por la naturaleza, sino que en ocasiones, gran parte de ellos pueden originarse debido a actividades antrópicas, uno de los claros ejemplos descritos por los autores, radica en la contaminación de

los suelos, y sismicidades que en ocasiones tienen su origen en llenados o vaciados de embalses y también por la construcción de infraestructuras. Apuntan de igual manera a que, el aumento de catástrofes naturales se registra debido al crecimiento demográfico proporcional en las últimas décadas, y muchas de las zonas ocupadas, posteriormente han sido catalogadas como zonas de “riesgos geológicos” y que anteriormente no se encontraban habitadas; un aspecto importante que se resalta en su desarrollo es que en la historia existen ejemplos curiosos, que ciudades que se han hallado azotadas por un fenómeno natural, raramente modificaron sus costumbres, hábitos o emplazamientos, lo que se considera como una idea que muestra un denominador común y una variable a considerar, dentro de la planificación territorial, puesto que se pueden incluir medidas a nivel técnico, económico y social, de carácter vinculante o estratégico, pero realmente si no existe una cooperación por parte de la población inmersa, no existirá un éxito en la planificación, o en las medidas de mitigación o prevención, y ésta última tiene como objetivo principal minimizar o evitar los daños que puede producir un determinado fenómeno, antes que evitar el suceso en sí mismo. Como consideraciones finales, este documento plantea que uno de los puntos más delicados es la Evaluación de Impacto Ambiental (E.I.A.), ya que, el hecho de poder elegir una alternativa dentro de la confrontación entre el medio natural (en este caso el relieve de la zona) y los usos requeridos por la sociedad dan origen a un resultado que se conoce como impacto, sin embargo, las posibles afecciones del medio natural pueden causar algo parecido, pero esta vez sería sobre los posibles usos o actuaciones del hombre. Finalmente, cabe resaltar que estos argumentos jugaron un papel fundamental en todo el proceso de revisión bibliográfica y de estado de la cuestión, ya que muestra que, el ámbito de estudio seleccionado junto con sus variables respectivas, han sido objeto de análisis desde hace mucho tiempo, y existen varias ideas que se han planteado, ya que actualmente es crucial tomar medidas al respecto, porque es un problema que se ha originado en muchos países, y prácticamente todos ellos han seguido el mismo proceso, y su problema rescata la misma raíz, un deficiente ordenamiento del territorio, y desconocimiento de la dinámica geomorfológica de la Tierra.

Las investigaciones referentes a socio-dinámicas de la población en relación con la geomorfología del terreno de las ciudades ha sido objeto de análisis en países como Italia, con una investigación ejecutada por (Antroico, De Pascale, Coscarelli, & Gullà, 2020) y esta se denomina *Landslide Risk Perception, Social Vulnerability and Community Resilience: The Case Study of Maierato (Calabria, Southern Italy)*, la cual tiene como eje principal un análisis exhaustivo en el impacto social y económico generado en la ciudad de Italia descrita, posterior

a la ocurrencia de un desastre natural, y se centra en las acciones que se deberían tomar para reducir el riesgo; en el continente Latinoamericano se han realizado algunas investigaciones referentes al problema de investigación, en México, uno de los análisis se realizó por los autores (Paz, González, Gómez, & Velasco, 2017) a través de su artículo denominado: *Metodología para elaborar mapas de susceptibilidad a proceso de remoción en masa, análisis del caso ladera sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*; también en Colombia se ha presentado esta problemática, cuyo análisis ha sido efectuado por los autores (Hernández & Ramírez, 2016), con un artículo de investigación denominado *Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca Cay, Ibagué, Tolima, Colombia*, de igual manera en Brasil se ha efectuado una investigación que se ha tomado en cuenta en este trabajo, esta investigación tuvo su eje central en la percepción frente a un riesgo natural, y tiende a otorgar una contribución a la planificación territorial, fue realizada por los autores (Barreto & Teles, 2020), el estudio se describe como *Landslide risk perception survey in Angra dos Reis (Rio de Janeiro, southeastern Brazil): A contribution to support planning of non structural measures*.

Un trabajo importante que se trae a colación es el desarrollado por (Pollock, Grant, & Wartman, 2019) cuyo título es *Multimodal method for landslide risk analysis*, este trabajo de investigación se centra en una perspectiva que trae a colación el análisis cuantitativo de los riesgos referentes a deslizamientos, pero muestra cómo un análisis multimodal de las fallas típicas presentadas en una catástrofe natural como los deslizamientos, pueden resultar más efectivos que el método tradicional que generalmente se emplea para predecir su falla, y lleva su aplicación a la región de Líbano; este trabajo es de gran ayuda para el presente análisis ya que, parte de la metodología a emplearse, es la de realizar modelos computacionales de los datos recogidos en campo referentes a posibles fallas geomorfológicas que ocasionen deslizamientos, y al aplicar este método físico propuesto en el artículo en mención, los resultados se obtuvieron de una forma más refinada, ya que el método presentado es del tipo determinístico, y tiene inferencia en porcentajes estimados de vulnerabilidad, con el fin de que estos puedan ser combinados y plasmados en un mapa cartográfico; esto hace referencia a uno de los objetivos específicos planteados al inicio de la investigación, y por ende, se ha seleccionado este artículo científico, como una base bibliográfica y práctica en el momento de realizar los modelos computacionales y también la sistematización de los resultados mediante Sistemas de Información Geográfica.

En el año 2004, se presentó un trabajo desarrollado por (López & López, 2004), quienes desarrollan ampliamente un trabajo en torno a las laderas, cuyo título es *El urbanismo de ladera: Un reto ambiental, tecnológico y del ordenamiento territorial*, este trabajo marca una gran representatividad, dentro del campo de estudio inmerso en la presente investigación ya que, proporciona una visión de los impactos urgidos por asentamientos informales en áreas periféricas de difícil urbanización, inmigrantes que se ubican en terrenos marginales especialmente laderas, deficiente planificación urbana, e impacto en la calidad de vida de las familias que la habitan; este documento que la arquitectura y el urbanismo deben aplicarse para cada caso y para cada ambiente de manera articulada, en vista que la urbanización ilícita es una característica general en varios países de Latinoamérica, y al ser una problemática social, también se torna una cuestión técnica que debe ser analizada, porque los sistemas constructivos empíricos se han visto aislados de un urbanismo sostenible, y desvinculados de una planificación urbana, inmerso en esto se encuentran latentes los riesgos a los que se exponen las familias que edifican viviendas informales en laderas. Los autores mencionan que se deben establecer nuevos estándares de construcción, que pueda partir de principios de planificaciones adecuadas, que llegue a mejorar entornos y sobretodo pueda salvar vida; la problemática radica en que una gran parte de la población de ciudades de Latinoamérica, son de escasos recursos, muchos de ellos han migrado del campo a la ciudad en busca de mejores oportunidades, pero en ciertos casos esto no se llega a dar, y como medidas de acción se ven obligados a establecer sus viviendas, sin permisos legales, sin la dirección de profesionales, y lamentablemente en terrenos que facilitan a que una vivienda sea más vulnerable frente a un riesgo natural; ya sea por la alta sismicidad que existe en varias regiones de Latinoamérica, que llegan a desencadenar deslizamientos de laderas o taludes, asentamientos en viviendas, o también por precipitaciones fuertes que generan inundaciones en los barrios marginales de las grandes ciudades. Esta información es de gran ayuda en el momento en que, se lleguen a recabar datos en el campo, y se los pueda relacionar con muchas de las causas descritas en el artículo en mención.

La investigación también abarca un punto importante y este es el papel que juegan las administraciones de las ciudades en la problemática, y es parte de las preguntas de investigación que se plantearon anteriormente; se llegan a urbanizar muchos sitios, en los cuales el uso del suelo es inadecuado, la erosión juega un papel importante, las precipitaciones pueden llegar a desestabilizar taludes, y los terrenos cada vez se vuelven más frágiles; sin embargo, el encontrarse ya un asentamiento humano de consideración, los autores mencionan que algunas administraciones para “solucionar” el problema, simplemente llegan a legalizar o

regularizar dichos terrenos y trazados, y no plantean medidas de mitigación o prevención, o en tal caso planes de reubicación, sino sólo hasta que sucede una catástrofe natural que cobra un sinnúmero de vidas y pérdidas económicas. La mayor parte de postulados al momento de realizar planificaciones urbanas, no toman en cuenta la morfología del terreno, su dinámica con el entorno, sus características litológicas, y tampoco llegan a determinar el grado de afección o de impacto que se podría generar en caso de urbanizarlo o no; en el trabajo de investigación citado, se hace referencia a un término llamado “zoning” el cual ha sido definido por el autor como una concepción del ordenamiento del territorio sumamente dañino para la cultura urbana, y éste se ha dado en muchas culturas y diferentes continentes, éste ha llegado a concluir que el espacio público es el residuo de la planificación territorial, y esto tiene incidencias directas en la calidad de vida de las personas; hablando específicamente de aquellas familias que habitan en laderas, muchos de los terrenos de gran pendiente llegaron a ser urbanizados, debido a su bajo costo y esto permitía que pueda ser una propuesta más asequible (en el mejor de los casos) para familias de un estrato social bajo, otra de las causas que menciona el autor, es que muchas laderas también atravesaron procesos de urbanización a causa de la cercanía de dicho sector geográfico, con el centro de la ciudad, en donde quizás era más accesible la toma de transporte.

Los autores hacen referencia a un aspecto importante y único en su investigación en comparación a otros documentos citados, los terrenos con características topográficas particulares con pendientes, poseen un gran potencial paisajístico, siempre y cuando se les pueda otorgar un manejo serio, bajo medidas técnicas constructivas serias, que se cobijen bajo normas de edificaciones estipuladas en cada país, sin embargo, este punto también llega a ser un tema de discusión, debido a que de forma similar en la ciudad de Ambato, muchas familias acaudaladas, han emplazado sus viviendas en terrenos escarpados o de gran pendiente, precisamente con la finalidad de poseer una vista con un valor paisajístico alto, pero la diferencia principal ha radicado en que, ellos sí poseen los recursos económicos, técnicos y materiales, para construir obras civiles de protección, como muros de concreto, reforzamiento en la estructura principal de la vivienda, canales, drenajes, entre otras; finalmente los autores hacen mención a la intervención urbana – ambiental, que pueda ser regulada bajo un equilibrio y compromiso de las dos partes, las administraciones y la población, basada en las facilidades económicas y sociales que puedan brindarse y en técnicas constructivas que puedan garantizar la estabilidad de una edificación frente a un riesgo natural latente, todo esto debe ser articulado bajo acciones políticas, que deberían ser materializadas en un Plan de Ordenamiento Territorial, que se renueve constantemente a medida de la evolución de la ciudad; en donde

puedan detallarse ciertas directrices de carácter vinculante y se haga referencia a laderas que posean característica de rangos de pendiente que son urbanizables, aquellas que necesiten además de la edificación, obras complementarias de protección, y finalmente puntos de carácter vinculante, que restrinjan el uso del suelo en ciertos sectores de laderas, que han sido catalogados como no urbanizables, y señalados zonas de riesgos o zonas de protección para reforestación en mapas cartográficos. Este trabajo de investigación citado, marca claramente que la tendencia del análisis de esta tesis de maestría, se encuentra bajo la óptica correcta, ya que se topan aspectos, técnicos y sociales, que fueron delimitados previamente bajo las líneas de investigación estipuladas.

Como trabajos de investigación más relacionados y apegados a la realidad con la problemática presentada en la tesis de máster, se tiene el artículo realizado por el investigador (Sierra, 2009) cuyo título es *La política de mitigación de los riesgos en las laderas de Quito: ¿qué vulnerabilidad combatir?*, este trabajo además de haber sido realizado en el Ecuador, posee varias características y similitudes, con la problemática presentada en las preguntas de investigación de este estudio, también la ciudad de Quito se emplaza en la región Sierra y la Cordillera de los Andes atraviesa la ciudad, por ende, los relieves superficiales que han sido urbanizados, poseen características idénticas a los de la ciudad de Ambato, que también se halla delimitada por topografías con pendientes; en resumen el autor menciona que, frente a la creciente urbanización en sectores marginales de la ciudad, especialmente en el occidente de la misma, se analiza una lógica de control y expansión en las laderas, y menciona que una lucha o gestión contra el riesgo natural, incidiría para constituir una política de ordenamiento territorial, y que esto genere consecuencias en el mejoramiento del marco de vida de muchos de los habitantes inmersos en la problemática. Hace hincapié en que los riesgos naturales, deben ser tratados de manera sistemática y articulada con los riesgos sociales, ya que puede ser que muchos riesgos naturales, lleguen a desencadenarse gracias a la actividad antrópica descontrolada en las zonas de estudio (laderas).

Finalmente, el trabajo que también mantiene una relación estrecha y cercana a la realidad de la problemática en la ciudad de Ambato, y sobre todo con la metodología a aplicarse, es el de los autores (Willems & Navarrete, 2002), cuyo artículo titula como *Herramientas de SIG como soporte a la Planificación Territorial dentro del Estudio de ordenamiento territorial de las laderas Su – Orientales del volcán Pichincha en Quito, Ecuador*, esta investigación describe a la planificación territorial como un proceso estratégico, orientado a futuro cuyo objetivo es la toma de decisiones basado en criterios racionales, bajo la utilización de programas que integren

Sistemas de Información Geográfica, y que puedan ordenar los datos, para realizar un análisis referente a cuencas hidrográficas, sectorizaciones, límites de seguridad, uso del suelo, entre otras, posteriormente conjugando las variables obtenidas, se aplica una metodología en forma de matriz para determinar el tipo de mitigación del riesgo; como conclusión principal el autor menciona que la planificación territorial, los riesgos naturales y los Sistemas de Información Geográfica, mantienen una estrecha relación, si estos últimos llegan a aplicarse de una manera ordenada y adecuada, llegan a facilitar evaluaciones rápidas que pueden concluir en acciones por parte de las diferentes administraciones, y también cita que es un campo que puede explotarse de una manera amplia, tanto en materias técnicas o sociales, y mejor aún si se pueden conjugar ambas.

Caracterización del área de estudio

El estudio se enfoca y se desarrollará en la ciudad de Ambato, es importante recalcar que dentro de la ciudad existe una división política administrativa, la cual fracciona la ciudad y su entorno, en parroquias; estas pueden ser urbanas y rurales, esto quiere decir que las parroquias urbanas poseen una mayor densidad poblacional al encontrarse la mayor parte de actividad política, económica, social y residencial dentro del casco urbano; y en la parte rural, es en donde existe una mayor segregación de la población junto con sus comunidades autóctonas de la zona, y en estas parroquias el movimiento social y económico es mucho menor; por lo tanto, la descripción que se ofrece a continuación se enmarca en una visión específica de la zona urbana de la ciudad de Ambato, esto se realiza por las siguientes razones:

- Delimitación de la superficie de análisis para una obtención más precisa de los resultados requeridos.
- Mayor concentración poblacional en la zona urbana, y problemática mucho más latente que en las parroquias urbanas.
- Existencia de laderas y quebradas con asentamientos y actividades antrópicas; lo que facilitará el desarrollo y geolocalización de aquellas zonas con una mayor vulnerabilidad.

Para el efecto, se utilizarán Sistemas de Información Geográfica, debido a la metodología planteada en el estudio, al igual que este tipo de representación cartográfica facilita la comprensión y el entendimiento en cuestiones geográficas y estadísticas en conjunto; esto permite que la percepción y latencia del análisis de la investigación sea mucho más íntegro.

Se presenta también una descripción y exposición de la Línea Base dentro del Área de Estudio; esto quiere decir que se delinearán los componentes ambientales bióticos, abióticos y sociales que se encuentran inmersos en el estudio, al igual que su desarrollo y alcance de acuerdo a la delimitación del área de estudio; esta última se verá comprendida en las laderas y quebradas que se encuentran colindantes en el río Ambato (como se verá en la cartografía), esta objetividad del área del problema se determinó de acuerdo a las visitas y observación de campo realizadas a lo largo de la investigación, aspecto que se respaldará con fotografías concatenadas con cartografía, con la finalidad de que se pueda constatar que la mayor concentración del problema en análisis se encuentra en los puntos señalado.



MAPA DE UBICACIÓN

UBICACIÓN:

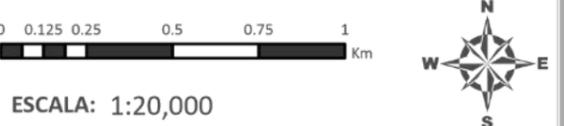
| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

- Parroquias de Ambato**
- AMBATILLO
 - AMBATO (MATRIZ)
 - ATAHUALPA
 - AUGUSTO N. MARTÍNEZ
 - IZAMBA
 - SAN BARTOLOMÉ DE PINLLO
 - SANTA ROSA
- Río Principal**
- Río Ambato

DESCRIPCIÓN:

En el mapa de ubicación se expone la principal área en donde se realiza el análisis investigativo; el mismo está compuesto por las parroquias urbanas superpuestas, la ortofoto tomada de un servidor de mapas en línea, y la simbología convencional que corresponde al Río Ambato que atraviesa la ciudad, además se muestra en el diagrama de localización, la ubicación del área de estudio a nivel provincial, y a nivel global.

Fuente: ESRI, 2020 - SNI, 2020.



Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros

Diagrama de Localización



"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."
 Trabajo de Fin de Máster
MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



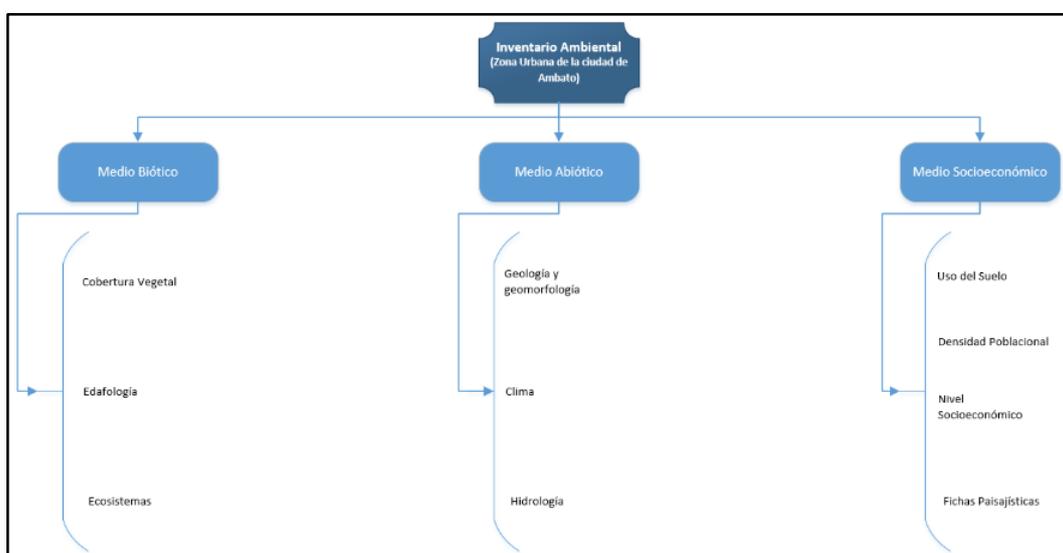
| | |
|--|---------------------|
| CENTRO DE ESTUDIOS: UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA | |
| ELABORADO POR: Alejandro Acosta Araujo - Alumno | FECHA: MAYO 2020 |
| TUTOR: Justino Losada Gómez | |

Coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)

Componentes ambientales del caso de estudio

Dentro del área de estudio es necesario que se puedan describir y desarrollar los componentes ambientales y factores socioeconómicos y territoriales que actualmente conforman a la zona urbana de la ciudad de Ambato – Ecuador, esto se constituye a continuación, a través de un esquema en el cual se enlistan los factores de acuerdo a su estado actual junto con sus características cualitativas y cuantitativas; estos se agrupan de forma que se puedan diferenciar los componentes del medio biótico, abiótico y socioeconómico mucho más sobresalientes e importantes para el análisis que se está realizando.

Imagen 2. Esquema y clasificación del inventario ambiental de Ambato - Ecuador



Elaborado Por: El Autor

Medio Biótico

- **Cobertura Vegetal**

La zona de análisis se encuentra en un 80% intervenida antrópicamente, debido a que es una parte de la ciudad de Ambato que se halla consolidada por viviendas residenciales, edificios comerciales y obras relacionadas con la infraestructura de transporte; sin embargo, el porcentaje restante corresponde a la vegetación natural e inducida.

A lo largo de las orillas del río Ambato aún se conservan pequeños relictos boscosos, también se aprecia a través de la cartografía, extensiones de pasto natural, en aquellas parroquias colindantes o ya pertenecientes a zonas rurales, se hacen extensivos los cultivos con fines agropecuarios, al igual que también se puede observar que existen una superficie considerable

de cultivos de maíz; finalmente en pequeñas porciones segregadas también se aprecia una vegetación del tipo arbustiva y herbácea que se mantiene de forma natural.

Gran parte de la cobertura vegetal de la ciudad de Ambato se ha visto reducida por las diferentes actividades antrópicas que se desarrollan hasta la actualidad.

- **Edafología**

Como se puede observar en la cartografía, la calidad del suelo en el área específica de análisis se encuentra intervenida por actividades antrópicas, estas se clasifican entre actividades comerciales y administrativas, pero también en el uso residencial del mismo, lo que ha conllevado a que la calidad edafológica del mismo se deteriore; también se observa áreas cercanas al río Ambato, que se hallan erosionadas por factores naturales y artificiales.

Sin embargo, hay también suelos con una fertilidad regular que no han sido sobresaturados por actividades de agricultura en las zonas colindantes al centro de la ciudad; la litología de la mayor parte de los suelos en el área crítica donde se halla más latente la problemática se divide en 3 grandes tipos:

- Limos
- Arena
- Franco - Arenoso

- **Ecosistema**

En lo que se refiere a los ecosistemas se encuentran el conjunto de la cobertura vegetal de la zona, el clima y la fauna, en el área de estudio se halla una pequeña porción del ecosistema denominado por el IGM (Instituto Geográfico Militar, 2019) como “Arbustal siempreverde montano del norte de los Andes”, este se caracteriza por tener una fisionomía arbustal, tener alta fragilidad y todo aquel entorno se considera de una alta fragilidad; además se incluye la zona de vida según “Leslie Holdridge” catalogada en el área de análisis como “Estepa”.

MAPA EDAFOLÓGICO (1)

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

● Coordenada de Referencia

Río Principal

— Río Ambato

DESCRIPCIÓN:

La edafología del suelo en este mapa se limita a mostrar la calidad del suelo con respecto a su uso, limitaciones o sobreutilización de la misma, con la finalidad de que se puedan mostrar aquellas zonas en donde existe una mayor o menor aptitud de conservación natural o ya sea el caso, antrópica.

Fuente: ESRI, 2020 - SNI, 2020 - IGM, 2019 .



ESCALA: 1:25,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."
 Trabajo de Fin de Máster

MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



CENTRO DE ESTUDIOS:
 UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA

ELABORADO POR:
 Alejandro Acosta Araujo - Alumno

FECHA:
 MAY 29 2020

TUTOR:
 Justino Losada Gómez

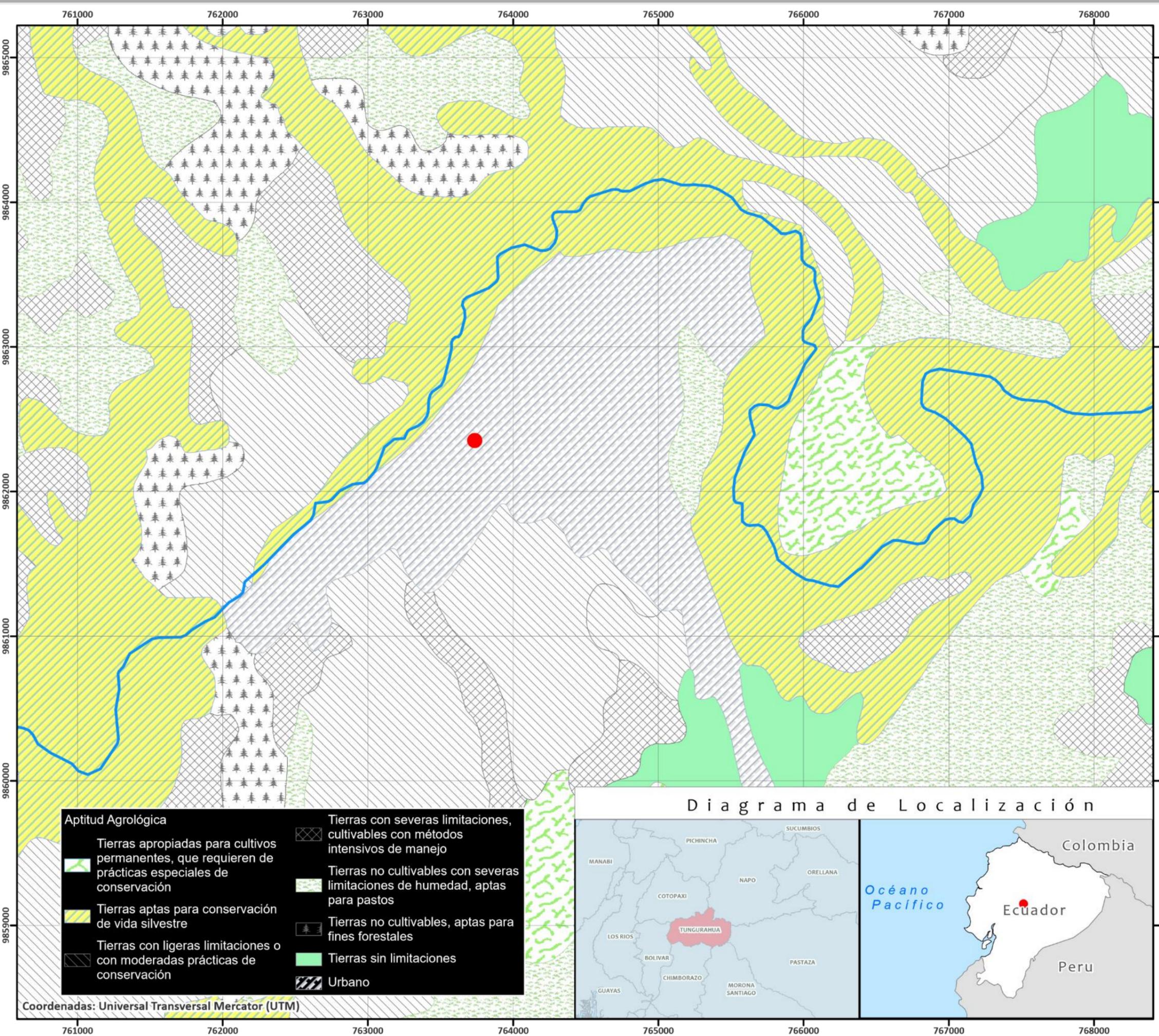


Diagrama de Localización



Aptitud Agrológica

- Tierras apropiadas para cultivos permanentes, que requieren de prácticas especiales de conservación
- Tierras aptas para conservación de vida silvestre
- Tierras con ligeras limitaciones o con moderadas prácticas de conservación
- Tierras con severas limitaciones, cultivables con métodos intensivos de manejo
- Tierras no cultivables con severas limitaciones de humedad, aptas para pastos
- Tierras sin limitaciones
- Tierras no cultivables, aptas para fines forestales
- Urbano

Coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)

MAPA EDAFOLÓGICO (2)

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

● Coordenada de Referencia

Río Principal

— Río Ambato

DESCRIPCIÓN:

La edafología del suelo en este mapa se presenta en relación a algunas características mecánicas que poseen los suelos del área de análisis, junto con el grado de erosión, profundidad, y tipo de acuerdo a la clasificación de suelos del Ecuador,

Fuente: ESRI, 2020 - SNI, 2020 - IGM, 2019 .



ESCALA: 1:25,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."

Trabajo de Fin de Máster

MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



UNIBA
 Centro Universitario
 Internacional
 de Barcelona



CENTRO DE ESTUDIOS:

UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA

ELABORADO POR:

Alejandro Acosta Araujo - Alumno

FECHA:
 30
 MAYO 2020

TUTOR:

Justino Losada Gómez

Aptitud Forestal

Características

- Urbano
- Suelos arenosos o limososnegros secos mas de 3 meses

- Suelos erocionados poca profundidad sobre ceniza dura cangagua
- Suelos erocionados poca profundidad sobre ceniza dura cangagua, carbo
- Suelos erosionados poco profundos sobre ceniza cimentada; cangagua
- Suelos rojos de fertilidad regular

Coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)

Diagrama de Localización



MAPA DE VEGETACIÓN

UBICACIÓN:

PROVINCIA: TUNGURAHUA ZONA URBANA
 CANTÓN: AMBATO SECTOR: VARIOS

● Coordenada de Referencia

Río Principal

— Río Ambato

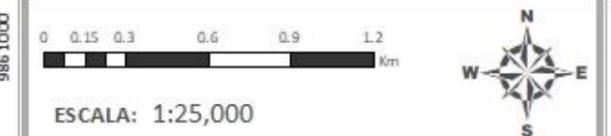
Cobertura Vegetal

- BOSQUE
- CUERPO DE AGUA
- OTRAS TIERRAS
- TIERRA AGROPECUARIA
- VEGETACION ARBUSTIVA Y HERBACEA
- ZONA ANTROPICA

DESCRIPCIÓN:

En el mapa se presentan las diferentes coberturas vegetales existentes dentro del área de estudio; es importante recalcar que se presentan de forma general los tipos de vegetación presentes en el medio, así como las especies vegetales con mayor volumen dentro de cada área determinada; también se diferencia el área antrópicamente intervenida.

Fuente: ESRI, 2020 - SNI, 2020 - SUIA, 2020.



ESCALA: 1:25,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."
 Trabajo de Fin de Máster

MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



CENTRO DE ESTUDIOS:
 UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA

ELABORADO POR:
 Alejandro Acosta Araujo - Alumno

FECHA:
 MAYO 2020

TUTOR:
 Justino Losada Gómez

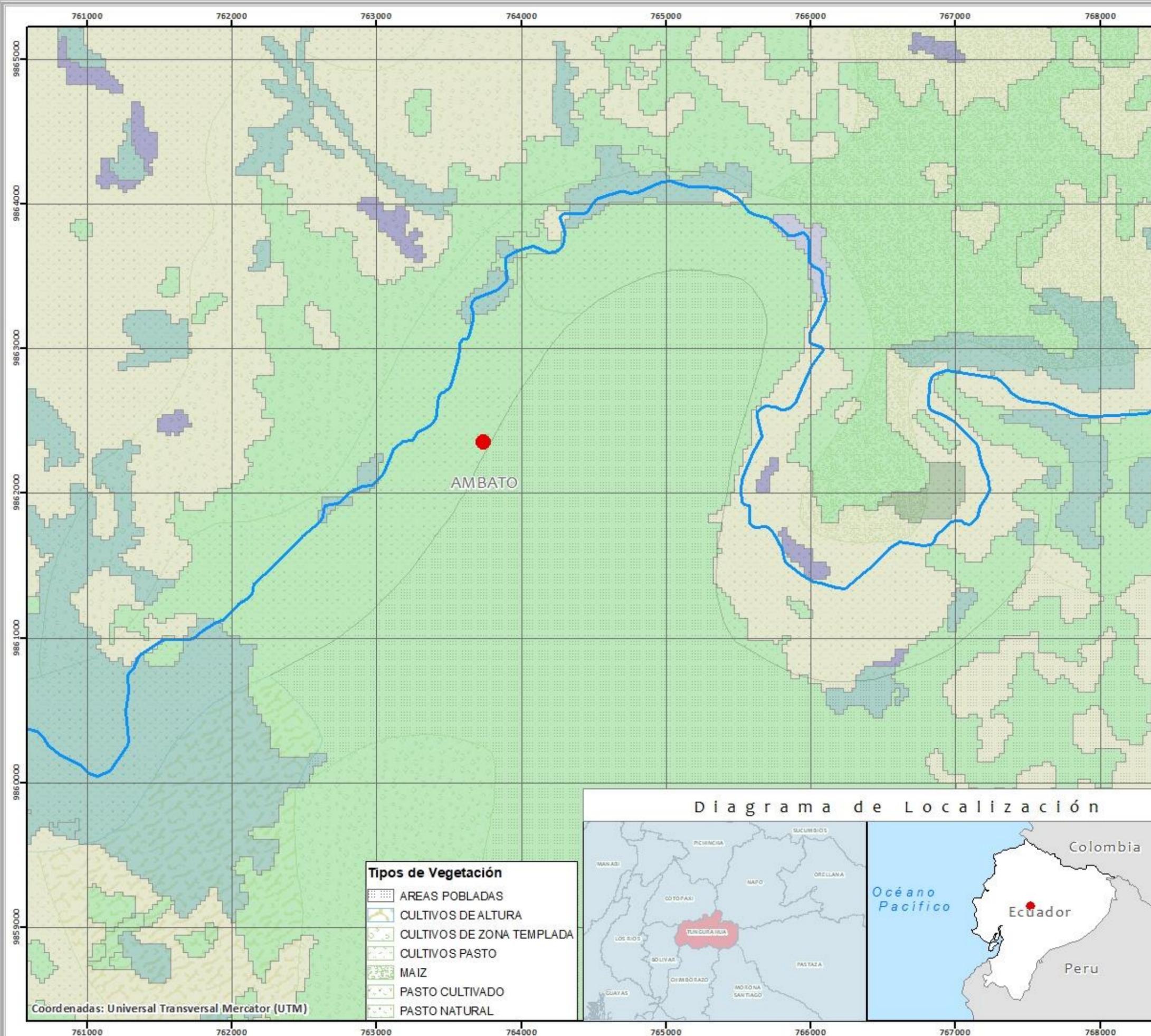


Diagrama de Localización



- ### Tipos de Vegetación
- AREAS POBLADAS
 - CULTIVOS DE ALTURA
 - CULTIVOS DE ZONA Templada
 - CULTIVOS PASTO
 - MAIZ
 - PASTO CULTIVADO
 - PASTO NATURAL

Coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)

Medio Abiótico

- **Geología y geomorfología**

En lo que corresponde a la geología y geomorfología, se pueden observar fallas geológicas menores en la cartografía, estas demarcan a su vez los accidentes topográficos que se pueden observar en campo y en las fotografías que se muestran posteriormente en este documento. En el área crítica de análisis se denota una geomorfología variada entre terrazas medias y planas de formaciones coluviales; también se hallan relieves con pendientes escarpadas a lo largo de la orilla del río Ambato con formaciones de depósitos aluviales y conglomerados de ceniza volcánica andesítica; las pendientes inmersas en esta área van desde el 12% hasta el 70%, y se catalogarían como pendientes suaves hasta muy fuertes, los desniveles van desde los 25 hasta los 200 metros y finalmente, las formas de los drenajes naturales son del tipo subdendrítico y subparalelo.

- **Clima**

De acuerdo a la cartografía presentada, los componentes principales expuestos que forma parte característica del clima de la zona urbana consolidada de Ambato se distinguen por la presencia de isoyetas, que demarcan el rango de precipitaciones anuales en la zona, al igual que por las isotermas inmersas en el sector mostrando así el rango de temperatura influyente en el microclima del sector.

Estas características forman el termotipo climático denominado como “Mesotropical Inferior”, además del bioclima relacionado con ambientes “xéricos” es decir que son relativos a hábitats con suministros de media a baja humedad.

Muchos de los parámetros climáticos se han visto modificados con el pasar de las décadas, principalmente por las actividades antrópicas y la expansión residencial que ha habido a lo largo de las orillas del Río Ambato, esto ha causado varias emisiones de gases relacionados con el efecto invernadero, y como consecuencia de ello actualmente el clima tiende a ser muy variantes de acuerdo a la estación; es decir, que, en ocasiones como en temporadas frías o cálidas, las temperaturas máximas alcanzan valores que se encuentran fuera de los rangos expuestos.

- **Hidrología**

Se puede apreciar en la cartografía que la hidrología del sector de investigación esta principalmente compuesta por el río Ambato, y por drenajes menores catalogados como ríos perennes pequeños y ríos intermitentes; estos se forman o desaparecen cada año de acuerdo al clima y a la estación que se encuentre presente; esto quiere decir que en épocas calurosas estos drenajes desaparecen y en épocas frías y lluviosas vuelven a formarse. Cabe resaltar que los drenajes menores forman parte de la microcuenca del río Ambato, este a su vez forma parte de la subcuenca del río Patate y finalmente este forma parte de la cuenca del río Pastaza que posteriormente constituye una parte del Amazonas.

MAPA GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

● Coordenada de Referencia

Río Principal

- Río Ambato
- - - Falla geológica

DESCRIPCIÓN:

En el mapa se muestra la geomorfología del área de estudio, misma que se encuentra compuesta por polígonos con geoformas de terrazas medias, altas y colgadas, también existen sectores con vertientes o terrazas abruptas, que precisamente representan a las laderas y quebradas de la zona céntrica de la ciudad; además en las formaciones inmersas se describen depósitos coluviales, conglomerados limosos y ceniza volcánica andesítica. La génesis de estos componentes data como fluvial o poligénica.

Fuente: ESRI, 2020 - SNI, 2020 .



ESCALA: 1:25,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."

Trabajo de Fin de Máster
MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



UNIBA
 Centro Universitario
 Internacional
 de Barcelona

Centro
 adscrito

UNIVERSITAT DE
 BARCELONA

CENTRO DE ESTUDIOS:

UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA

ELABORADO POR:

Alejandro Acosta Araujo - Alumno

FECHA:

31 MAYO 2020

TUTOR:

Justino Losada Gómez

Geomorfología

Geoforma

- | | |
|--|--|
| Abrupto de superficie inclinada | Terraza media |
| Barranco | Terrazas escalonadas |
| Coluvio-aluvial antiguo | Valle fluvial, llanura de inundación |
| Coluvio-aluvial reciente | Valle indiferenciado |
| Coluvión antiguo | Vertiente abrupta |
| Llanura de depósitos volcánicos | Vertiente abrupta con fuerte disección |
| Rampas de piedemonte de cono volcánico | Vertiente de llanura de depósitos volcánicos |
| Relieve volcánico colinado medio | Vertiente heterogénea |
| Superficie inclinada | Vertiente o abrupto de terraza |
| Terraza alta | Vertiente rectilínea |
| Terraza colgada | Vertiente rectilínea con fuerte disección |

Coordenadas: Universal Transversal Mercator, (UTM)

Diagrama de Localización



MAPA CLIMÁTICO

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

- Coordenada de Referencia
- Río Principal**
- Río Ambato
- Rango de Isoyetas de precipitaciones (mm)**
- 0-500
- 500-750
- Rango de Isotermas (°C)**
- 10-12
- 12-14
- 14-16

DESCRIPCIÓN:

En el mapa se exhibe la superposición de capas de acuerdo al área de estudio, esta es la zona urbana consolidada de la ciudad de Ambato - Ecuador, se muestran las franjas de isotermas que describen el rango de temperaturas y las fajas de isoyetas que describen los rangos de precipitaciones; estas son características del bioclima presente en esta zona consolidada.

Fuente: ESRI, 2020 - SNI, 2020 - SUIA, 2020.



ESCALA: 1:25,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."
 Trabajo de Fin de Máster
MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



CENTRO DE ESTUDIOS:
 UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA

ELABORADO POR:
 Alejandro Acosta Araujo - Alumno

FECHA:
 MA36 2020

TUTOR:
 Justino Losada Gómez

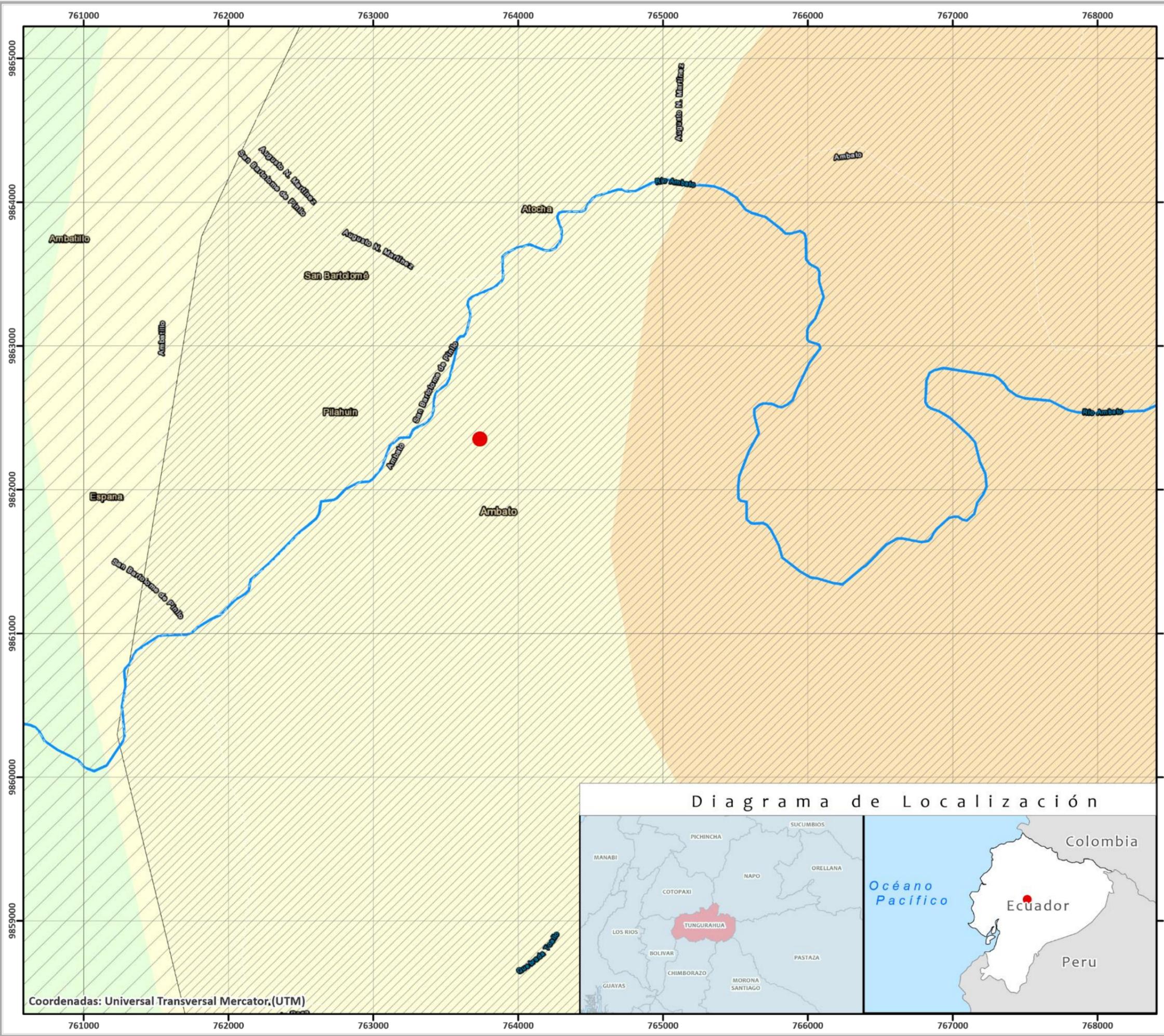


Diagrama de Localización



Coordenadas: Universal Transversal Mercator, (UTM)



MAPA HIDROLÓGICO

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

- Coordenada de Referencia
- Drenajes menores**
- - - Río simple intermitente
- - - Río simple perenne
- Río Principal**
- Río Ambato

DESCRIPCIÓN:
 En el mapa se exponen los distintos cuerpos hídricos e hidrológicos superficiales inmersos en el área principal de estudio, existen drenajes menores que contribuyen en el cauce del río Ambato, siendo este el cuerpo hidrológico superficial más importante y conocido de la ciudad. El río Ambato forma parte de la subcuenca del Río Patate, y a su vez de la cuenca del Río Pastaza que finalmente desemboca en el Amazonas.
 Fuente: ESRI, 2020 - SNI, 2020 .

0 0.15 0.3 0.6 0.9 1.2 Km

ESCALA: 1:25,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros



"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."
 Trabajo de Fin de Máster
MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL

| | |
|---|----------------------------|
| CENTRO DE ESTUDIOS: UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA | |
| ELABORADO POR: Alejandro Acosta Araujo - Alumno | FECHA: MAYO 2020 |
| TUTOR: Justino Losada Gómez | |

Coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)

Medio Socioeconómico

- **Uso del Suelo**

El uso del suelo de acuerdo al sistema productivo que se maneja en la ciudad se denota con una superficie mayormente urbanizada o en proceso de urbanización; además también se observan las principales actividades económicas que se desarrollan en la ciudad como los complejos industrial y recreacional, también los cultivos de hortalizas y frutas característicos de la región, canteras de explotación minera y centros poblados segregados; todo ello muestra una erosión progresiva del suelo y un cambio notable en el relieve y en los factores geomorfológicos; esta relación entre parámetros físicos, mecánicos y socioeconómicos se presenta de forma más explícita en la cartografía correspondiente.

- **Densidad poblacional**

Como es de suponerse, la densidad poblacional en la zona urbana de la ciudad de Ambato comprende una alta concentración de habitantes por cada hectárea; como se observa en la cartografía, este valor va desde los 50 hasta los 528 habitantes por hectárea, también se aprecia que existen varios sectores con altas concentraciones de población y residencias unifamiliares, y estas viviendas están ubicadas en zonas de laderas o quebradas.

- **Nivel socioeconómico**

Como se observa el nivel socioeconómico en la ciudad de Ambato se aprecia en la cartografía de una manera variada, esto muestra que, como era de suponerse, en la zona urbana de la ciudad de Ambato se concentran los estratos sociales medios y altos; explícitamente hablando en la zona de estudio que se halla en las orillas del río Ambato, existen dos sectores que son considerados de alta plusvalía y en donde habitan personas catalogadas como de “altos recursos”, sin embargo, se puede notar que el nivel socio económico se transforma de alto a bajo a lo largo de las orillas del río (y es en donde se desarrolla de forma más acentuada la problemática); en cualquier caso en las afueras de la zona consolidada (parroquias rurales) se distingue un cambio drástico entre el nivel “alto” y el nivel “bajo”, esto debido a que en estos sectores las actividades económicas se centran más en la agricultura informal que no se altamente remunerada en la ciudad.

- **Fichas Paisajísticas**

En la cartografía se visualizan puntos referenciales para cada tipo de paisaje clasificado según el IGM, por ende, se presenta a continuación una imagen de los paisajes inmersos en el área de estudio junto con sus características principales.

Tabla 1. Ficha de paisajes relativos al área de estudio

| | |
|--|---|
| <p style="text-align: center;">AFC3-AMB-P09</p>  <p>Cobertura vegetal miscelánea de hortalizas Geoforma coluvial antigua Aptitud física constructiva baja Pendiente media Textura del suelo Franco-arenosa</p> | <p style="text-align: center;">AFC3-AMB-P17</p>  <p>Cobertura vegetal con mosaicos de ciclo corto Geoforma de superficies planas ligeramente onduladas Aptitud física constructiva baja Pendiente suave Textura del suelo Franco-arenosa</p> |
| <p style="text-align: center;">AFC3-AMB-P09</p>  <p>Cobertura vegetal de “kikuyo” y trébol Geoforma de terraza colgada Aptitud física constructiva alta Pendiente plana Textura del suelo Franco-arenosa</p> | <p style="text-align: center;">AFC3-AMB-P30</p>  <p>Cobertura vegetal de grama Geoforma de relieve volcánico colinado alto Aptitud física constructiva baja Pendiente media Textura del suelo franco-arenosa y cangagua</p> |
| <p style="text-align: center;">AFC3-AMB-P35</p>  <p>Cobertura vegetal de “kikuyo” Geoforma de terraza baja Aptitud física constructiva no apta Pendiente plana Textura del suelo arenosa</p> | <p style="text-align: center;">AFC3-AMB-P31</p>  <p>Cobertura de Eucalipto Geoforma de superficie de coluvión antiguo Aptitud física constructiva muy baja Pendiente suave Textura del suelo arena y roca</p> |
| <p style="text-align: center;">AFC3-AMB-P34</p>  <p>Cobertura vegetal de “kikuyo” Geoforma de terraza media Aptitud física constructiva baja Pendiente muy suave Textura del suelo arenosa</p> | <p style="text-align: center;">AFC3-AMB-P10</p>  <p>Cobertura vegetal miscelánea de hortalizas Geoforma de terraza alta Aptitud física constructiva baja Pendiente muy suave Textura del suelo arenosa</p> |

Fuente: IGM, 2019

Elaborado Por: El Autor

MAPA DE USO DE SUELO

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

● Coordenada de Referencia

— Río Principal
— Río Ambato

DESCRIPCIÓN:

El uso del suelo mostrado en el mapa se enmarca en un contexto del Sistema Productivo manejado en la ciudad y en la región; es importante resaltar que la mayor proporción corresponde a una zona antrópicamente intervenida, al estar centrados en la zona urbana semi céntrica de la ciudad de Ambato.

Fuente: ESRI, 2020 - SNI, 2020 - IGM, 2019 .



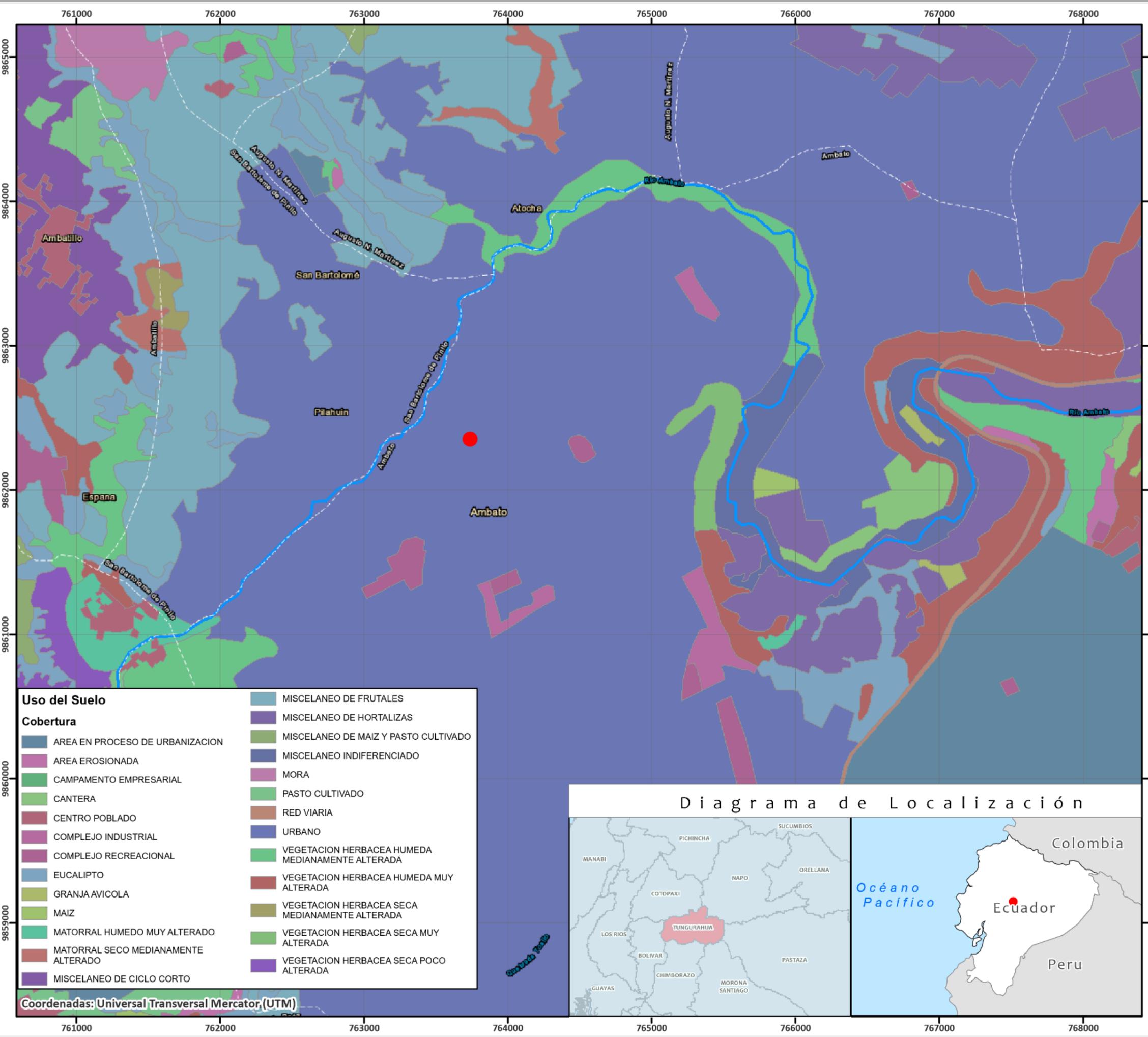
ESCALA: 1:25,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
Proyección: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
Unidad: Metros

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."
Trabajo de Fin de Máster
MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



| | |
|--|---------------------|
| CENTRO DE ESTUDIOS: UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA | |
| ELABORADO POR: Alejandro Acosta Araujo - Alumno | FECHA: MAYO 2020 |
| TUTOR: Justino Losada Gómez | |



| Uso del Suelo | |
|--|--|
| MISCELANEO DE FRUTALES | |
| MISCELANEO DE HORTALIZAS | |
| MISCELANEO DE MAIZ Y PASTO CULTIVADO | |
| MISCELANEO INDIFERENCIADO | |
| MORA | |
| PASTO CULTIVADO | |
| RED VIARIA | |
| URBANO | |
| VEGETACION HERBACEA HUMEDA MEDIANAMENTE ALTERADA | |
| VEGETACION HERBACEA HUMEDA MUY ALTERADA | |
| VEGETACION HERBACEA SECA MEDIANAMENTE ALTERADA | |
| VEGETACION HERBACEA SECA MUY ALTERADA | |
| VEGETACION HERBACEA SECA POCO ALTERADA | |

| Cobertura | |
|-------------------------------------|--|
| AREA EN PROCESO DE URBANIZACION | |
| AREA EROSIONADA | |
| CAMPAMENTO EMPRESARIAL | |
| CANTERA | |
| CENTRO POBLADO | |
| COMPLEJO INDUSTRIAL | |
| COMPLEJO RECREACIONAL | |
| EUCALIPTO | |
| GRANJA AVICOLA | |
| MAIZ | |
| MATORRAL HUMEDO MUY ALTERADO | |
| MATORRAL SECO MEDIANAMENTE ALTERADO | |
| MISCELANEO DE CICLO CORTO | |

Coordenadas: Universal Transversal Mercator, (UTM)

Diagrama de Localización



MAPA DE DENSIDAD POBLACIONAL

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

● Coordenada de Referencia

Río Principal

— Río Ambato

Densidad Poblacional (hab/ha)

| |
|-----------|
| < 52 |
| 53 - 114 |
| 276 - 528 |
| 184 - 275 |
| 115 - 183 |

DESCRIPCIÓN:

En el mapa se presentan mediante una clasificación graduada de colores relativa a una cantidad, la densidad poblacional expresada en función del número de habitantes por cada hectárea, se aprecia que en la zona urbana existe una mayor densidad de población, al ser una superficie mayormente consolidada y en dónde se encuentran la mayor parte de actividades antrópicas y las residencias.

Fuente: ESRI, 2020 - SNI, 2020 - SUIA, 2020.



ESCALA: 1:25,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."

Trabajo de Fin de Máster

MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



CENTRO DE ESTUDIOS:

UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA

ELABORADO POR:
Alejandro Acosta Araujo - Alumno

FECHA:
MAYO 2020

TUTOR:
Justino Losada Gómez

Diagrama de Localización



Coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)

MAPA DE NIVEL SOCIOECONÓMICO

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

● Coordenada de Referencia

Río Principal

— Río Ambato

Nivel Socioeconómico

- MEDIO BAJO
- MEDIO ALTO
- MEDIO
- BAJO
- ALTO

DESCRIPCIÓN:

En el mapa se muestra en un rango de colores los diferentes niveles socioeconómicos de la zona urbana consolidada de la ciudad de Ambato, es importante resaltar la diferencia entre los estratos urbanos y rurales, al tener diferentes ingresos económicos, fuentes y condiciones de empleo, las parroquias rurales poseen un nivel socioeconómico de medio a bajo, mientras que en el casco central de la ciudad, incluidos los barrios del oeste, poseen estratos socioeconómicos medio altos y altos.

Fuente: ESRI, 2020 - SNI, 2020 - IGM, 2019.



ESCALA: 1:25,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."

Trabajo de Fin de Máster

MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



UNIBA
 Centro Universitario
 Internacional
 de Barcelona



CENTRO DE ESTUDIOS:

UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA

ELABORADO POR:

Alejandro Acosta Araujo - Alumno

FECHA:
 MAYO 2020

TUTOR:

Justino Losada Gómez

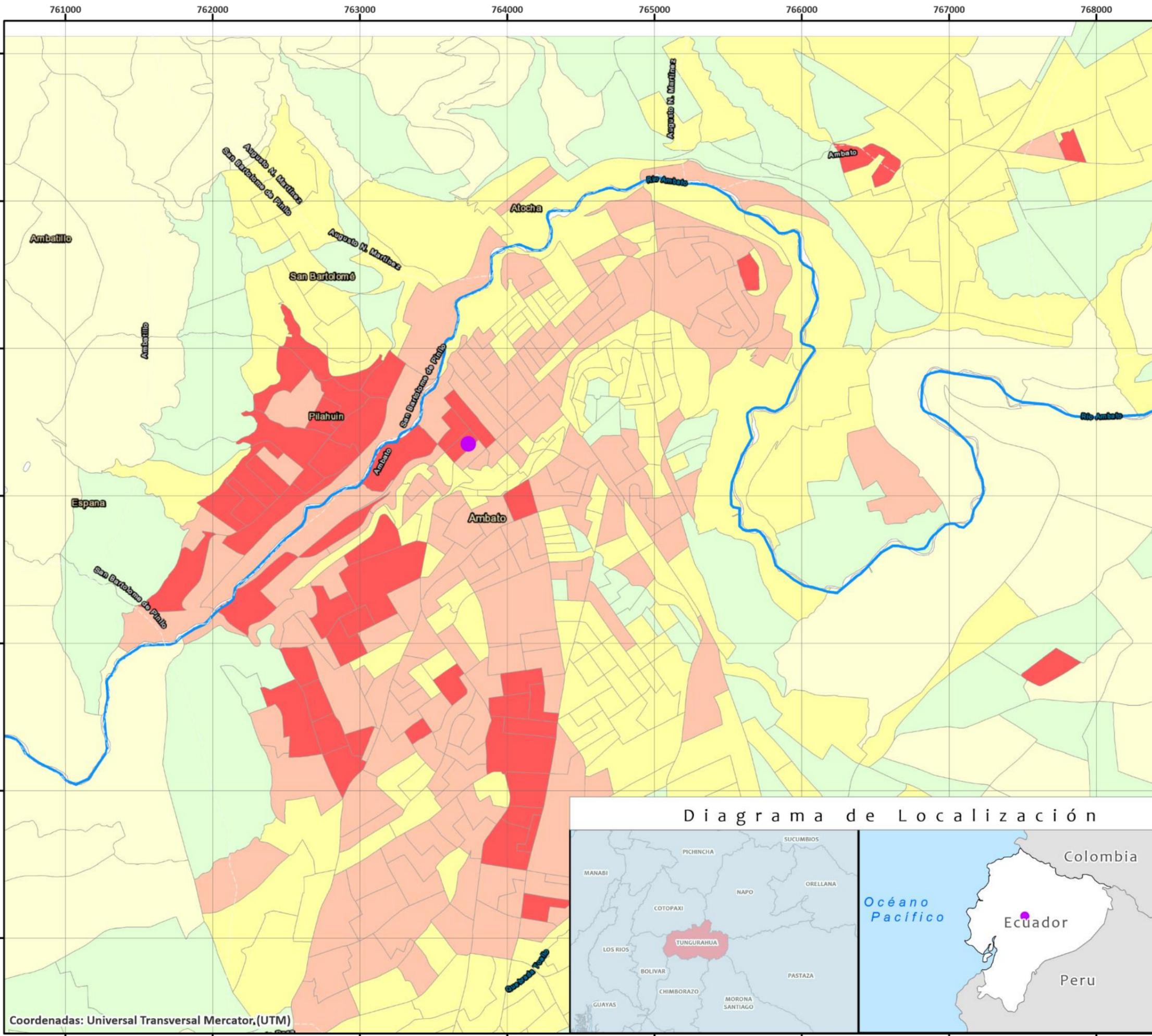


Diagrama de Localización



Coordenadas: Universal Transversal Mercator, (UTM)

MAPA DE FICHA PAISAJÍSTICA

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

- Puntos de Paisajes IGM
- Coordenada de Referencia

Río Principal

— Río Ambato

DESCRIPCIÓN:

En el mapa se muestran puntos que contienen en su tabla de atributos, direcciones URL que muestran documentos con una ficha paisajística y sus componentes por cada punto, en la presente investigación se realizó un análisis de aquellos puntos que se encuentran inmersos en la zona más crítica tipológicamente hablando y se los ha resumido en una tabla.

Fuente: ESRI, 2020 - SNI, 2020 - IGM, 2019.



ESCALA: 1:25,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."
 Trabajo de Fin de Máster

MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



UNIBA
 Centro Universitario
 Internacional
 de Barcelona

Centro
 adscrito



CENTRO DE ESTUDIOS:

UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA

ELABORADO POR:

Alejandro Acosta Araujo - Alumno

FECHA:

MAV 2020

TUTOR:

Justino Losada Gómez

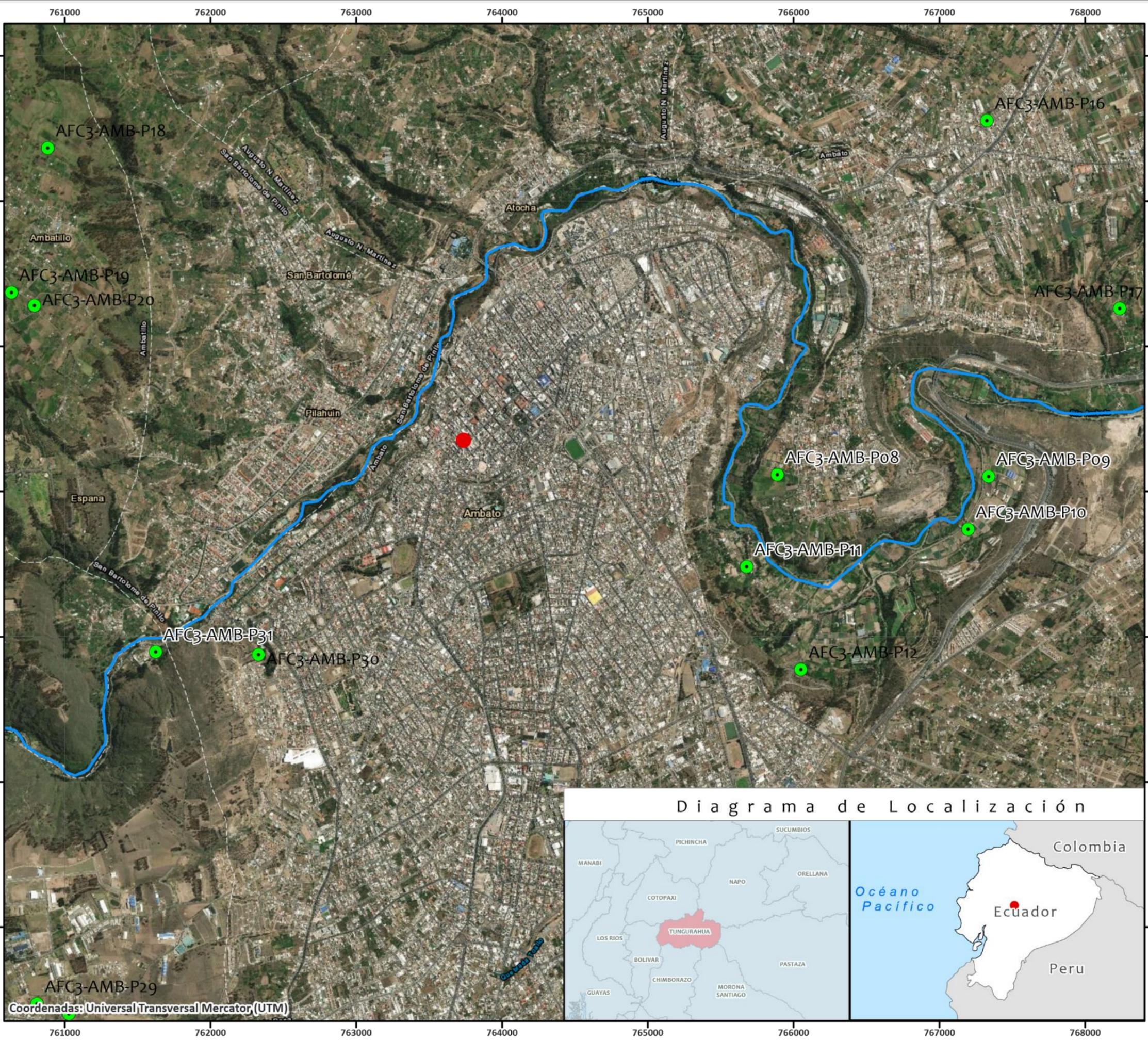


Diagrama de Localización



Coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)

Marco Teórico

Algunas áreas o países del mundo siempre se encuentran en una constante recuperación de uno u otro desastre natural, y es claro que los estos se hacen mucho más presentes hoy en día, que en el pasado.

Las dimensiones geográficas básicas que intervienen en un desastre, conllevan a las preguntas de: ¿Dónde?, ¿Cómo? y ¿Por Qué?

Las palabras que más se aplican en esta materia que, ponen en contexto un evento u otro, son tergiversadas o confundidas en muchos lugares; por lo que a continuación, se exponen los términos principales que se repiten en el presente estudio, con el objeto de poder diferenciarlos y entender la dimensión y clasificación de cada uno posteriormente:

- **Peligro:** incluye el impacto a personas o lugares, interacción social, tecnológica y de sistemas naturales; es imposible entender un peligro sin involucrar el contexto social, económico, histórico, político y ambiental
- **Riesgo:** el riesgo es la probabilidad de la ocurrencia de un evento, es la cuantificación y estimación de la probabilidad, para determinar niveles de aceptación de las medidas de acción que se puedan tomar. El riesgo es un componente del peligro
- **Desastre:** es un evento singular que se extiende hasta la pérdida de personas, infraestructuras o del mismo ambiente.

Es importante diferenciar los tres conceptos ya que, una vez que se lo haga, se podrá evaluarlos, tomar medidas de prevención, y medidas de acción cuando estos ocurran.

La evaluación cuantitativa del riesgo, trata de definir el grado de exposición humana, frente a agentes químicos, físicos y biológicos y el número de muertos, incrementos de enfermedades como consecuencia de uno de los agentes expuestos.

Durante mucho tiempo ha existido un paradigma, en el hecho de analizar un riesgo, y llegar a enmarcarlo en un contexto de un área determinada, ya sea científica o social, sin embargo, de acuerdo avanzan los años, las investigaciones, los eventos suscitados y la tecnología, existe una perspectiva que muestra el autor que, en muchos casos el alcance del riesgo llega a agravarse sobre todo por el contexto social en el que se encuentre una comunidad, una ciudad o región. Este puede ser un factor agravante o detonante en el momento de la ocurrencia de un desastre y posteriormente los resultados obtenidos por la evaluación del riesgo, llegan a ser

desalentadores, por ende, las investigaciones no se pueden limitar a un contexto meramente analítico, técnico o físico, sino que necesariamente debe incluirse el aspecto social en la evaluación, prevención o mitigación de los riesgos (Cutter, 2001).

Las preguntas o los planteamientos en materia de riesgos lucen bastante similares en su redacción pero, en la aplicación metodológica de los mismos, son completamente distintos; finalmente, es importante remarcar que en la actualidad al mencionar los términos, riesgo o peligro, no se puede limitar todo a un contexto cuantitativo o cualitativo, sino que la tendencia hoy en día, se extiende a realizar un análisis integral del riesgo, en donde intervengan distintos marcos de referencia, que compongan bases de datos y amplios campos de estudio (Cutter, 2001).

En los lugares en donde existen accidentes topográficos considerables que demarcan fuertes pendientes en montañas, la ocurrencia de altas tasas de lluvia, pueden generar una combinación mortal y desastrosa, ya que en varias regiones de Latinoamérica altamente pobladas, la erosión en sitios que demarcan pendientes con grandes ángulos de inclinación y también muy escarpadas, han causado deslizamientos de grandes dimensiones, cuya masa de tierra generalmente termina en el río más próximo generando sedimentación en los sistemas de drenaje (Latrubesse, 2009).

En la mayor parte del territorio latinoamericano, las causas principales de los desastres son las intensas lluvias de la región, ya que estas desencadenan deslizamientos en montañas con pendientes abruptas, y en otras ocasiones inundaciones en valles; esto acompañado con factores característicos de las regiones como fuertes vientos, tormentas, etc., dan como resultado que la escala de daños de los desastres naturales sea de mucha consideración (Latrubesse, 2009).

La escasa planificación frente a desastres naturales, junto con la falta de medidas de prevención o mitigación en muchos de los países de Latinoamérica, agravan la vulnerabilidad de la región frente a peligros y desastres.

La cordillera de los Andes es considerada la “columna vertebral” del continente Sudamericano, dentro de su proceso formativo, se concentraron procesos generativos de montañas durante la era Cenozoica, su longitud aproximada a lo largo del continente es de 8000 kilómetros, y se la ha dividido en tres sectores principales: Norte, Centro y Sur.

El riesgo natural, más significativo e importante para Sudamérica, siempre se ha enmarcado como un riesgo de índole sísmico, en términos de recurrencia y alcance, al producir terremotos

a lo largo de la costa Pacífica; prueba de ello es el mayor terremoto registrado de la historia en el año 1960, en Chile, cuya intensidad se registró con un valor de 9.4 en la escala de Richter; los eventos que constantemente arremeten a las ciudades que se encuentran en son los sismos o terremotos poco profundos, que sin embargo también causan efectos secundarios peligrosos como tsunamis, o inestabilidad en laderas, lo que ocasiona pérdidas humanas y en infraestructuras (Latrubesse, 2009).

A pesar de la región sudamericana se ha visto afectada a lo largo del tiempo por eventos de índole natural, la intervención humana ha exacerbado muchos procesos erosivos; un ejemplo latente de ello son las estructuras de protección, como muros o enrocados, que se han instalado en los lechos de ríos, zonas inundables o en las costas, muchas de ellas no son capaces de mitigar los efectos de una crecida o de un oleaje, y en su defecto han causado que las proporciones de sedimentos o de arena, disminuyan. Una situación similar sucede con las laderas o taludes naturales, que a medida que se han asentado construcciones (formales o informales) el suelo va perdiendo su capacidad portante y consolidada; esto en un plazo mediano genera inestabilidad, sumada con otros factores como ya se han mencionado (lluvias o movimientos sísmicos), causan resultados catastróficos.

La microzonificación en Venezuela consiste en analizar la respuesta estimada de las capas del suelo frente a excitaciones originadas por un sismo o terremoto, dicho estudio es de mucha utilidad en el momento de planificar ciudades, y sus futuras expansiones, así como para elaborar mapas de riesgo.

Las ciudades crecen de manera desordenada, junto con los puntos de concentración de gente pobre (suburbios o comunas) de manera que las construcciones que se realizan, desacatan todas las normativas impuestas por las administraciones municipales, y dicha expansión y crecimiento difícilmente es controlado por un ente de control de riesgos; mientras que la vulnerabilidad de muchos sitios crece, hasta que se puedan instaurar planes y medidas urbanísticas para mitigar o prevenir consecuencias desastrosas (Latrubesse, 2009).

En una etapa en que el crecimiento del número de sucesos que tienen relación con los riesgos naturales, se ha incrementado debido a los cambios climáticos globales que está experimentando el mundo, resulta importante analizar las medidas y políticas públicas de mitigación, con respecto a su efectividad, al igual que sus efectos y consecuencias.

Es importante mencionar que ningún país en el mundo ha logrado tener una política pública en materia de riesgos naturales, que haya resultado 100 % eficaz para tratar todos los aspectos que se encuentran inmersos en este tema.

Generalmente las medidas que tienden a adoptarse en materia de riesgos naturales son: políticas y regulaciones para el uso del suelo, en otros lugares se habla de un tipo de seguro frente a inundaciones y en algunos otros sitios se emplazan dispositivos estructurales u obras civiles, sean estas públicas o privadas (Emdad, 2005).

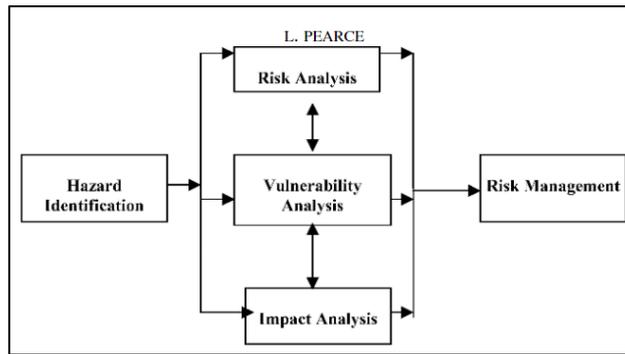
Los investigadores concuerdan en que es importante realizar un análisis (HRV) (hazard, risk y vulnerability de acuerdo a sus siglas en inglés), como un primer paso para un mejor manejo del todo lo que conlleva un peligro natural, entendiendo previamente que estos se encuentran generalmente divididos entre eventos y consecuencias en donde se podría tener las siguientes opciones:

- Prevenir la ocurrencia del evento
- Prevenir las potenciales consecuencias del evento
- Minimizar las consecuencias más graves del evento

Por lo tanto, existen muchos investigadores y expertos en el tema, que concuerdan que es posible dar un gran paso en temas de prevención, siempre y cuando en todo el manejo del proceso que se lleve a cabo para mitigar cualquier riesgo, necesariamente deben intervenir factores como: la responsabilidad de las personas, junto con la garantía de su calidad de vida, las economías locales y también mantener y mejorar el medio ambiente, en vista de que las actividades antrópicas, no reduzcan la capacidad del ecosistema (Pearce, 2005).

El mayor obstáculo radica en un modelo de aplicación, ya que no en todos los países surgen los mismos desastres, los daños tienen alcances diferentes y también la magnitud de cada “comité” debería tener un enfoque distinto, sin embargo, en lo que la mayor parte de autores y expertos en la materia coinciden, es en que necesariamente dentro de esta planeación debe existir un miembro que se considere como parte de un sector vulnerable, y dado el caso si se lo aplica a diferentes escalas, se tendría miembros con personas de países en vías de desarrollo, ya que la planificación se enfocará en el cómo las comunidades menos favorecidas, llegan a actuar frente a un desastre natural; y aquí valdría la pena hacer una observación e indagación considerable notando en cómo ciertas desigualdades han aumentado el grado de vulnerabilidad de muchas personas frente a un riesgo (Pearce, 2005).

Imagen 3. Modelo de esquema de HRVI



Fuente: Pearce, 2005.
Elaborado Por: El Autor.

Aquí el autor hace referencia a una propuesta de secuencia lógica en el momento de la organización para mitigar un peligro natural, y también cataloga el análisis de impacto, no solamente dentro de un campo técnico, sino que el impacto puede llegar a ser técnico, político, económico o ambiental. Recomienda que esto se realice en un punto en el cual se hayan realizado los análisis integrales correspondientes y al final se pueda aplicar una valoración o ponderación a los resultados obtenidos, para que de esta manera exista ya un grado definido de vulnerabilidad para los espacios de estudio (Pearce, 2005).

Se sugiere que se siga un proceso teórico, práctico y metodológico para que se llegue a una valoración del peligro, del riesgo, y del desastre (en caso de ocurrir), pero en casos de mitigación o incidencia de factores externos, se identifican impactos cualitativos y cuantitativos, que tengan influencia en la sociedad (estos pueden ser positivos o negativos para la misma), y una vez se haya diagnosticado e implementado cada impacto, es más sencillo que un modelo de gestión pueda instaurarse, y que éste sea el responsable de que se mitiguen en cierta proporción, las consecuencias de un desastre.

Existe también una aproximación referente a un análisis costo-beneficio al actuar frente a un peligro natural, dicho estudio es necesario debido a que en la mayor parte de países del mundo las consecuencias que se generan por un desastre natural, son asumidas económicamente por los gobiernos estatales, sin embargo, cabe resaltar que también existen medidas de prevención con la esperanza de que éstas puedan mitigar el impacto que se origine; pero aquí surge la cuestión de analizar de una manera muy detallada el hecho de elegir a qué riesgo se destinarían los fondos para adoptar estas medidas preventivas, o cómo voy a realizar un modelo económico para financiar dichas actividades (Ganderton, 2005)

En la presente investigación resulta preponderante abarcar este asunto, que se halla dentro del marco de estudio, ya que la ciudad de Ambato pertenece al Ecuador, que desde hace mucho

tiempo ha sido considerado como un país en vías de desarrollo; la gran problemática que se da en torno a estos países se centra en dos aspectos principales, el primero es que existe un déficit fiscal gigante que no permite que se destinen fondos suficientes para una actuación en materia de peligros naturales, y como consecuencia de ello, hay un desconocimiento grande de la población sobre aquellas zonas que son más propensas a inundaciones, deslizamientos de tierra, tsunamis, entre otros; el segundo aspecto es que el Ecuador posee muy pocos profesionales que se dedican a esta rama científica/social, y por lo tanto, no existen muchas investigaciones técnicas, de las cuales se pueda partir para entablar un punto de actuación.

En la mayor parte de países en vías de desarrollo, se da un denominador común en torno a la problemática, y este es que la pobreza que existe, obliga a las personas a establecer sus hogares en sectores de alto riesgo, y lo hacen de una forma ilícita, como consecuencia no existe un profesional que se encuentre al frente de dicha construcción, y esto duplica quizás el grado de vulnerabilidad, y finalmente, en estas zonas, no existe una sola vivienda, sino que en un plazo determinado de tiempo, estas zonas llegan a “urbanizarse” por muchas más personas, y en el momento en el que llega un desastre natural, los primeros en recibir las consecuencias son ellos (Ganderton, 2005).

Las estrategias de mitigación de riesgos relativamente económicas podrían cosechar importantes ganancias en vidas salvadas y evitar pérdidas económicas, sin embargo, estos programas evolucionan lentamente a medida que estas naciones dependen de organizaciones extranjeras para proporcionar los recursos para diseñarlas e implementarlas.

La estrategia que proponen muchos autores frente a esta problemática, es la de que aquellos proyectos más necesarios en materia de riesgos naturales puedan ser financiados con una especie de “trade” o de intercambio de insumos o materias primas, ya que éstas son subvaloradas en su mercado interno, sin embargo, en el exterior su precio llega a ser mucho mayor y son recursos que necesitan otros países, por lo tanto, el hecho de hacer un análisis real de aquellos proyectos que necesiten medidas de prevención y mitigación más urgentes, podrían financiarse de esta forma, y habría una cooperación de los gobiernos locales con organizaciones extranjeras o inclusive con gobiernos extranjeros; esta propuesta nace del concepto en el que el mayor limitante de la problemática actual es el financiamiento, pero se puede recurrir a este análisis costo-beneficio, para cada caso específico, y de este modo, hay grandes avances en la toma de decisiones para involucrar tanto a las administraciones como a la población en la educación y seriedad de lo que representa un desastre natural (Ganderton, 2005).

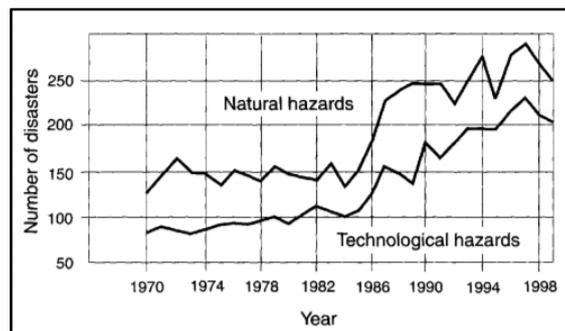
Influencias exacerbantes como: el crecimiento urbanístico descontrolado, la deforestación y la ocupación marginal del suelo, se introducen en el contexto de acrecentar la sensibilidad en muchos países en vías de desarrollo, frente a un desastre natural.

Los peligros naturales en muchas ocasiones se definen como eventos naturales extremos que significan una amenaza para las personas, sus propiedades y posesiones; estos se convierten en desastres, solo cuando dicha amenaza se llega a materializar (McGuire, Mason, & Kilburn, 2002).

Existen peligros naturales que se catalogan como geofísicos, esto quiere decir que surgen de procesos físicos del interior de la Tierra, y pueden distribuirse en 3 categorías:

- Geológicos: terremotos, volcanes y deslizamientos de tierra
- Atmosféricos: tormentas, fuertes precipitaciones, temperaturas extremas y rayos
- Hidrológicos: inundaciones

Imagen 4. Cuadro de número de desastres por año en USA



Fuente: McGuire, Mason & Kilburn, 2002.
Elaborado Por: El Autor.

Los deslizamientos no son propios de una sola región o condición climática, sino que se dan a lo largo de todos los ambientes geomorfológicos y geológicos del mundo.

En términos de impacto, los deslizamientos generalmente se encuentran subestimados, esto debido a que surgen como producto de otro peligro natural, como un terremoto, una erupción volcánica o un periodo de fuertes precipitaciones.

Más allá de la problemática del cambio climático, el aumento de los desastres naturales se debe a una tendencia que va en crecimiento y consiste en la expansión desmesurada de grandes ciudades que llegan a construirse en zonas extremadamente vulnerables frente a un peligro natural; por ende, esto acrecentará las pérdidas humanas y económicas con el pasar del tiempo.

Son considerados como insignificantes, porque la mayor parte de deslizamientos se dan en pequeñas magnitudes, y en raras ocasiones atraen la atención popular.

Los principales factores que controlan el avance y tipología de un deslizamiento son: el peso de la masa de tierra inestable, las propiedades litológicas del material, y el ambiente local (el relieve de su alrededor) (McGuire, Mason, & Kilburn, 2002).

Un factor determinante que desencadena los deslizamientos es la acumulación de agua debajo de la superficie de la pendiente.

Impactos de los deslizamientos:

- Costo de las propiedades destruidas, su reparación o reposición
- Limpieza y desbroce de los escombros
- Construcción de nuevas estructuras incluyendo obras de protección
- Mantenimiento de las nuevas obras civiles
- Pérdidas humanas

Los deslizamientos también tienen incidencia en el ambiente, ya que una vez que ocurren, esto ocasiona la erosión del suelo, y también está ligado a la pérdida de fertilidad de suelos agrícolas, paralelamente, si un deslizamiento ocurre cerca de un cuerpo hídrico superficial, como un río, lago o incluso el mar, los sedimentos acarrearán consecuencias con la fauna existente; también los sedimentos pueden causar daños en los filtros purificadores de agua o en las bombas de impulsión para sistemas de irrigación; en el mar incluso pueden llegar a generarse tsunamis si la porción de agua deslizada es considerable, tal y como sucedió en Hawái con el volcán “Anak Krakatoa” en el año 2018 (Amos, 2018).

Tipos de deslizamientos de tierra

Los deslizamientos son masas inestables de suelo natural y roca y ocurren cuando la fuerza de la gravedad supera la resistencia natural de la pendiente, esta situación generalmente sucede por la combinación de factores como las precipitaciones y socavaciones en el pie del talud.

Es importante resaltar que la vegetación del talud, juega un papel importante, al intervenir asimilando las funciones de anclaje, para mantener la estabilidad (McGuire, Mason, & Kilburn, 2002).

Los movimientos telúricos también originan desestabilización en los taludes, al incidir en la aceleración sísmica del suelo, junto con la acción de la gravedad; la naturaleza de su alcance dependerá exclusivamente de la distancia del talud hacia el epicentro del movimiento sísmico, y de la mayor parte de material del que se encuentra conformado (suelo natural o roca). Los

volúmenes de tierra que se generan pueden ser medidos desde metros cúbicos hasta toneladas métricas, y la velocidad de cada movimiento puede encausarse desde centímetros por año, hasta kilómetros por hora, la clasificación de los movimientos de tierra o deslizamientos ha sido bastante amplia de acuerdo a diferentes perspectivas de los autores, sin embargo, para el presente caso de estudio se utilizará la clasificación que se muestra a continuación:

Tabla 2. Tipos de movimientos de tierra y características

| Tipo de movimiento | Roca de Fondo | Escombros (suelo grueso) | Tierra Suelo Fino |
|-------------------------------|---|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Caídas | Caída de roca | Caída de escombros | Caída de tierra |
| Derribos | Derribos de roca | Derribo de escombros | Derribo de tierra |
| Deslizamientos Rotacionales | Declive de rocas | Declive de escombros | Declive de tierra |
| Deslizamientos Traslacionales | Deslizamiento de bloque de roca | Deslizamiento de bloques de escombros | Deslizamiento de bloque de tierra |
| | Deslizamiento de roca | Deslizamiento de escombros | Deslizamiento de tierra |
| Extensiones laterales | Extensiones de roca | Extensiones de escombros | Extensiones de tierra |
| Flujos | Flujo de roca | Flujo de escombros | Flujo de tierra |
| Complejo | Combinación de 2 o más tipos de movimientos | | |

Fuente: McGuire, Mason & Kilburn, 2002.

Elaborado Por: El Autor.

Desde el punto de vista de riesgo, los deslizamientos más peligrosos son aquellos que fluyen o se deslizan.

La velocidad es una característica potencial de la capacidad destructiva de un deslizamiento

Y de acuerdo al potencial de daño puede realizarse la siguiente clasificación:

- Velocidad lenta: Muestran una deformación a través de intervalos de días o años, y generalmente no representan una gran amenaza para las estructuras.
- Velocidad catastrófica: Desencadenan movimientos de alrededor de 100 km/h en donde la destrucción es inminente y total.
- Velocidad intermedia: Movimientos que se caracterizan por velocidades de 10 km/h, suficientes para poner en riesgo a personas y causar daños significativos a edificios.

Tabla 3. Clasificación y características de las velocidades de los movimientos

| Clase de velocidad de deslizamiento | Descripción | Límite de velocidad (m/s) | Impacto destructivo |
|-------------------------------------|-----------------------|--|--|
| Catastrófico | Extremadamente Rápido | > 5 (~5-50 m/s) | Catástrofe violenta. Difícil escape, muchas muertes. Edificios Destruídos. |
| Intermedio 1 | Muy Rápido | 5×10^{-2} -5 (~m/min a m/s) | Pérdida de algunas vidas, edificios destruidos. |
| Intermedio 2 | Rápido | $5 \cdot 10^{-4}$ - $5 \cdot 10^{-2}$ (~m/h a m/min) | Posible escape. Edificios con daños. |
| Lento 1 | Moderado | 5×10^{-6} - $5 \cdot 10^{-4}$ (~m/semana a m/h) | Estructuras esenciales (puentes/autopistas) se mantienen temporalmente |
| Lento 2 | Lento | 5×10^{-8} a 5×10^{-6} (~m/año a m/semana) | Algunas estructuras pueden repararse |
| Lento 3 | Muy Lento | 5×10^{-10} a 5×10^{-8} (~m/siglo a m/año) | Daño mínimo a las estructuras |
| Lento 4 | Extremadamente Lento | $< 5 \times 10^{-10}$ (<m/siglo) | Movimientos perceptibles solamente con instrumentos |

Fuente: McGuire, Mason & Kilburn, 2002.

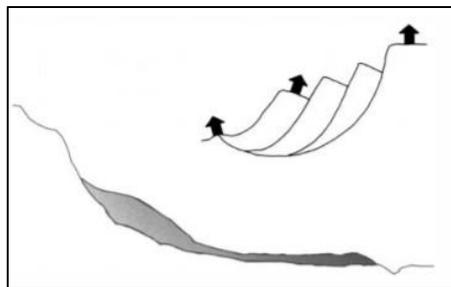
Elaborado Por: El Autor.

Deslizamientos lentos

Este tipo de movimiento es el más común que se presenta en la naturaleza, este puede involucrar volúmenes de unos cuantos metros hasta millones de metros cúbicos, generalmente ocurren en pendientes que van desde los 2° hasta los 45°, pero aparentemente son más frecuentes en pendientes de 20° a 25°. Morfológicamente hablando pueden clasificarse de acuerdo a su forma de relieve en:

- **Rotacionales:** Son aquellos que ocurren en superficies curvas, o cóncavas, las porciones de masa de tierra de dichos movimientos tienden a tener un ancho similar o mayor a la longitud de la pendiente, y pueden ser hasta 3 veces mayores a su espesor promedio (10 metros), los volúmenes que alcanzan van en un rango de 10^5 a 10^6 metros cúbicos.
- **Traslacionales:** Son aquellos movimientos que ocurren en superficies onduladas débiles, viéndolo en planta estos movimientos tienen una “lengua” o se presentan en forma de gota de agua.

Imagen 5. Ilustración de movimiento rotacional



Fuente: McGuire, Mason & Kilburn, 2002.
Elaborado Por: El Autor.

Un factor importante como un desencadenante o en casos acelerante, para la ocurrencia de los movimientos lentos, es el agua. Las masas se comportan como un bloque, y lo que genera el agua es que las condiciones de dicho bloque, cambien a lo largo de los diferentes planos de falla, en primer lugar, el agua aumenta el peso específico de todo el bloque de tierra, al cambiar de un estado seco, a semi saturado o incluso saturado; posteriormente la presión acumulada que causa el agua empuja para que se creen planos de falla adyacentes y por ende la resistencia a la fricción entre partículas también se reduce (McGuire, Mason, & Kilburn, 2002).

Deslizamientos catastróficos

Este tipo de deslizamientos ocurre cuando masas que van desde los 10^6 m³ hasta los 100 km³, colapsan, y generan aceleraciones en un orden que bordea el valor de 1 m/s². Pueden atravesar

varios kilómetros en cuestión de minutos y eliminar todo lo que encuentren a su paso, suceden en promedio 2 veces en cada década en regiones que se caracterizan por poseer relieves bastante escarpados, ya sea en montañas jóvenes, o en grandes edificios volcánicos.

Los movimientos catastróficos suceden sobretodo en pendientes mayores a 20° , los patrones de falla pueden ser rotacionales o traslacionales y la geometría que se forma puede ser similar entre ambos casos. Los colapsos se dan de forma repentina en donde notoriamente se puede deducir una mínima fuerza de fricción, en donde posteriormente la energía que se genera en el deslizamiento pasa de ser potencial a energía cinética, y así esta ser usada para acelerar el movimiento de toda la masa de roca.

A diferencia de los patrones de falla que presentan los deslizamientos lentos, en este caso se producen fallas a cientos de metros a profundidad de la cresta del talud de roca, el colapso inmediato sucede precedido de largos intervalos de fluencia acelerada de la estructura; y finalmente el tiempo del colapso se da en cuestión de segundos, lo que marca que su comportamiento está fuertemente influenciado por las características de resistencia del material (McGuire, Mason, & Kilburn, 2002).

Deslizamientos Intermedios

De acuerdo a la clasificación realizada por Varnes, este movimiento abarca deslizamientos rápidos y flujos, este movimiento generalmente ocurre en materiales poco consolidados como barro, arcillas y limos de alta plasticidad.

Los resultados pueden producirse por movimientos traslacionales o rotacionales en un rango de pendientes iguales o mayores de $20^\circ - 25^\circ$, el patrón de falla es generalmente poco profundo, mientras que el deslizamiento en sí mismo puede ser dominado por la falla inicial, la deformación se centra en la base y márgenes laterales de la masa de tierra en movimiento.

El rango de volúmenes que se manejan en este tipo de movimiento van de 10^3 hasta 10^6 metros cúbicos, y al igual que en los casos anteriores, el agua juega un factor desencadenante en el momento de inicio del movimiento al ejercer presión sobre los poros.

En la transición de un movimiento de deslizamiento de tierra lento a catastrófico, el movimiento intermedio posee características de ambos, y crecen en volumen a medida que avanza; esta clasificación también se encuentra asociada mayormente a aquellos taludes que poseen pendientes más pronunciadas y material propenso a una licuefacción (McGuire, Mason, & Kilburn, 2002).

El cambio climático y su incidencia en los deslizamientos de tierra

Todos los factores que actualmente han contribuido a que el clima como lo conocemos de acuerdo a sus diferentes estaciones de año, tenga variaciones y particularidades; esto también tiene una incidencia en los deslizamientos de tierra, ya que como se ha explicado antes el agua es uno de los principales factores que “motiva” o “acelera” un proceso de deslizamiento, se espera que la temperatura de la tierra crezca en promedio de 3° cada año y que esto conlleve a que en ciertos sectores los rangos anuales de precipitaciones aumenten considerablemente, también la vegetación cada vez se halla más reducida por intervenciones antrópicas o deforestación, esto causa que en los sitios de pendientes más pronunciadas, la disminución de cultivos de raíz corta no actúen como anclajes y por ende hay una mayor inestabilidad en el talud (McGuire, Mason, & Kilburn, 2002).

Como una parte de la evolución del paisaje también cuentan los movimientos de tierra cuesta abajo, ya que las rocas y diferentes materiales litológicos se encuentran en constante movimiento en toda la Tierra; estos movimientos pueden ir desde ligeros deslizamientos cuesta abajo, motivados por la acción de la gravedad, hasta grandes masas de tierra y otros materiales que llegan a ser catastróficos (Hyndman & Hyndman, 2010).

La habilidad para que una pendiente pueda resistir un deslizamiento depende de la fuerza motriz que “tira” hacia abajo la masa, frente a la acción de la fuerza resistiva, que la sostiene.

La fuerza motriz consiste sobretodo en aquella fuerza de gravedad que principalmente influye en el peso del material, mientras que la fuerza resistiva consiste en la resistencia del material y la fricción, que trata de mantenerlo inmóvil. Entre otros factores que determinarán cuándo podrá producirse un deslizamiento están: la inclinación de la pendiente, el peso específico del material, el contenido de humedad etc., (Hyndman & Hyndman, 2010).

Dos de los factores más importantes dentro de un deslizamiento de tierra, ya sea en una ladera o en una quebrada, sería primero el ángulo de la pendiente, ya que mientras más alto y escarpado tienda a ser este, la fuerza motriz será de mayor magnitud, y también crecerá la probabilidad de que la pendiente falle, y secundariamente el factor que influye es el peso específico del material, ya que estos dos factores influyen en lo que se denomina como el ángulo de reposo o también conocido como ángulo de fricción interna, el cual consiste en que un material determinado posee una inclinación específica de acuerdo a la angularidad de sus partículas o granos y su contenido de humedad; estas características permiten que en condiciones normales, no excitadas por algún otro factor externo, una masa de terreno

permanezca en reposo; un ejemplo práctico para clarificar este concepto será el de la arena, este material en seco si se lo apila y vierte en un mismo sitio, tendrá un ángulo de fricción constante, mientras que si se altera su contenido de humedad (arena mojada o semi-húmeda) el ángulo de apilamiento cambiará.

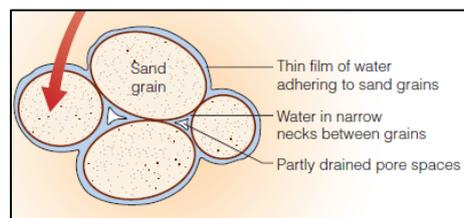
Imagen 6. Ejemplo de características del suelo



Fuente: Hyndman & Hyndman, 2010.
Elaborado Por: El Autor.

Otro factor que interviene en una posible falla o deslizamiento, es la cohesión del material presente en el talud, ladera o quebrada; a este factor se lo puede definir como aquellas pequeñas fuerzas de atracción que están presentes en las partículas del material, o también como la fuerza de atracción de agua presente en la tensión superficial, esta atracción estática permite que de acuerdo a las diferentes condiciones específicas del medio, las partículas podrán estar más o menos unidas o “atraídas” entre sí, las cargas electroestáticas que en ciertos materiales añade el agua, son capaces de permitir que las partículas puedan tener un mayor grado de cohesión entre sí (ejemplo de la arena con agua). Sin embargo, la cantidad de agua óptima en determinadas partículas, permite la cohesión del suelo, sin embargo, cuando existe una sobresaturación del contenido de humedad, las partículas en este caso tienden a separarse por la acción del agua, y es por ello que, en suelos sobresaturados, son más propensos los deslizamientos (Hyndman & Hyndman, 2010).

Imagen 7. Comportamiento de partículas del suelo



Fuente: Hyndman & Hyndman, 2010.
Elaborado Por: El Autor.

De manera sencilla y resumida, se puede decir que los deslizamientos ocurren cuando las fuerzas y características anteriormente descritas, no se encuentran en equilibrio, esto quiere

decir que en un momento determinado, las fuerzas paralelas a la pendiente, superarán la fuerza resistiva y la fuerza de fricción; por lo tanto, ocurrirá el deslizamiento; y como aquí se mantiene el principio en el que la materia no se crea ni se destruye, solamente se transforma; por lo tanto los deslizamientos se detienen o bajan su velocidad en un lugar y distancia determinado, cuando las fuerzas de sí, nuevamente llegan a su equilibrio; tal y como se describe en la ecuación siguiente:

$$f + C < F \text{ ó } (N - p) * \tan \alpha + C < F$$

Fuerza de fricción + Cohesión < Fuerza motriz = fuerza resistiva < fuerza motriz

Dónde:

- N= Fuerza perpendicular a la pendiente (fuerza normal)
- $(N-p)*\tan\alpha$ = Fuerza resistiva, menos la presión de poro de agua, por la tangente del ángulo de la pendiente.
- p= presión de poro
- α = ángulo de la pendiente
- C= cohesión del suelo

Las vibraciones originadas por terremotos, transporte y equipo pesado, fácilmente pueden jugar como un factor detonante en una pendiente con materiales que faciliten su ocurrencia, tales como la arcilla.

Causas de los deslizamientos

Como se ha dicho anteriormente, una vez que las fuerzas inmersas en la pendiente de una montaña, ladera o quebrada se desequilibran, es cuando empieza el deslizamiento, se pueden también contar como factores externos para que esto suceda a los cortes que se realizan en los terrenos para las construcciones viales, una sobrecarga en la corona del talud que generalmente se da por construcciones, la sobresaturación de agua en el material, o la remoción de la capa vegetativa presente en el talud, lo que desestabiliza, desequilibra y altera las fuerzas del terreno.

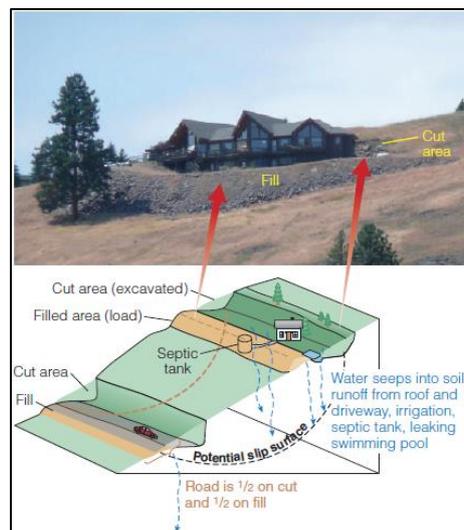
Abertura excesiva y sobrecarga

La sobrecarga en el talud, puede originarse al añadir una masa de terreno en la corona del mismo, o al retirar material al pie de este; esta sobrecarga puede ser también por construcciones de casas o edificios cerca de la corona del talud, o también por la añadidura de materiales por acción natural, como el suelo en sí, o la nieve. También esta sobrecarga genera que

internamente el ángulo de la pendiente se aumente (sea por relleno en la corona o por retirar material en el pie) (Hyndman & Hyndman, 2010).

La abertura excesiva ocurre por procesos naturales o antrópicos, naturales tales como la erosión causada durante cierto tiempo por la lluvia o el viento, lo que degrada progresivamente los taludes y genera partículas sueltas; y los que generalmente ocurren son aquellos en los que interviene la acción del hombre, de forma similar al caso de sobrecarga, la pendiente natural del talud se altera por procesos de corte y relleno de acuerdo a las necesidades humanas que se asientan en el sitio; a veces tiende a ocurrir solamente el corte, lo que llega a escarpar mucho más la pendiente, y en ocasiones ocurren los dos procesos, corte y relleno, el primero modifica el ángulo de la pendiente, haciéndolo más propenso a deslizarse, mientras que el segundo (relleno) añade una sobrecarga ya sea en la corona del talud o inclusive en un punto intermedio entre esta y el pie del mismo, esto sirve como un doble factor que acrecienta su vulnerabilidad y lo hace más susceptible a deslizarse, generalmente las construcciones tienden a realizar este proceso, tal y como se muestra en la siguiente imagen (Hyndman & Hyndman, 2010).

Imagen 8. Factores de vulnerabilidad de un talud



Fuente: Hyndman & Hyndman, 2010.
Elaborado Por: El Autor.

Incremento de agua

La adición o incremento de agua en una superficie o talud determinado, los hace más propensos al deslizamiento, ya que el suelo se sobresatura, la presión de poro actúa de una forma en la que empuja las partículas y los granos del material; colaborando de esta forma como factores que agravan las condiciones normales de la pendiente, causando el deslizamiento; por ello en zonas de climas característicos por la humedad, los deslizamientos de tierra son constantes.

Las acciones antrópicas en las que se utiliza agua también tienden por su actividad intrínseca a desestabilizar los taludes, ya sea por fugas de agua, tuberías de alcantarillado, o pérdidas hidráulicas en piscinas; también el riego en la agricultura (por goteo o por aspersión en el césped), aumentará la “tabla” de agua y la pendiente perderá estabilidad (Hyndman & Hyndman, 2010).

Tipos de deslizamiento

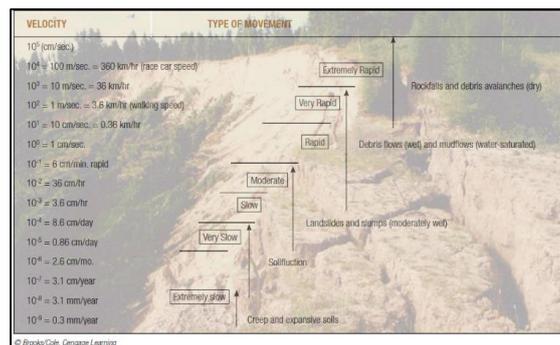
Para la clasificación de los tipos de deslizamiento, intervienen muchos factores, tales como el tipo de material, el tipo de movimiento o la tasa de movimiento; los materiales pueden clasificarse entre bloques de roca sólida, partículas productos del desprendimiento, generalmente más gruesas a 2 milímetros, tierra y suelo más fino a 2 milímetros.

En lo que respecta a las tasas de movimiento, estas son muy variables incluso para aquellos movimientos individuales, la tasa depende de varios factores como:

- Inclinación de la pendiente
- Tamaño del grano
- Contenido de agua
- Espesor de la masa en movimiento
- Tipo, y porcentaje de arcilla mineral presente

A continuación, el autor, presenta un cuadro de resumen con una gran aproximación a las tasas de movimiento de los deslizamientos de masas de tierra.

Imagen 9. Rango de velocidades de deslizamientos



Fuente: Hyndman & Hyndman, 2010.
Elaborado Por: El Autor.

Entre los estilos de deslizamiento que existe, se incluyen:

- Caídas de acantilados
- Derrumbos

- Desprendimientos laterales
- Flujos
- Deslizante

Cada uno de los estilos de movimiento, posee características propias de ellos, sin embargo, lo que comúnmente ocurre, es que a medida en la que se desarrolla un estilo en un tiempo determinado, éste puede evolucionar y convertirse en otro, o al menos adoptar características de otro estilo de deslizamiento. Los más comunes son las caídas y deslizamientos de rocas, deslizamientos de escombros, tierra, flujos de lodo y avalanchas de nieve (Hyndman & Hyndman, 2010).

Desprendimiento de rocas

Este tipo se desarrolla más comúnmente en aquellas pendientes que son más escarpadas, regiones montañosas marcadas por una serie de acantilados con fracturas verticales, y otras zonas débiles. Los deslizamientos de este tipo, generalmente ocurren primero con desprendimientos de pequeños fragmentos de roca, que generalmente son del tipo metamórfica, también se pueden desencadenar por la introducción de agua a los espacios intersticiales, y cuando esta llega a congelarse, la masa de roca se fractura, produciendo escombros de distintos tamaños, comúnmente ocurren en pendientes escarpadas de al menos 40° de inclinación; los datos históricos muestra también que este estilo se ha desencadenado por terremotos, vibraciones causadas por automóviles y equipos, o también por explosiones generadas por la actividad minera cercana a la zona (Hyndman & Hyndman, 2010).

Avalanchas de escombros

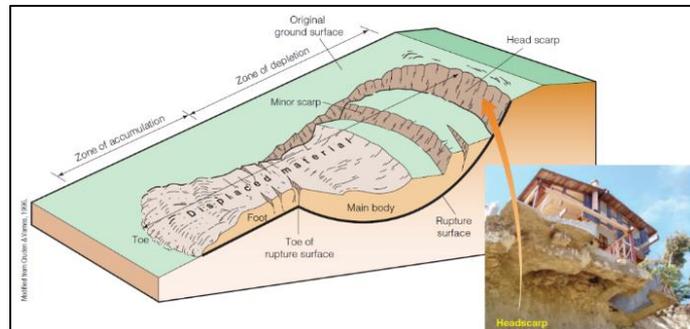
En ocasiones, los desprendimientos ocasionados en masas gigantes de roca, tienden a romperse progresivamente en pequeños fragmentos de un tamaño determinado, que se deslizan a una gran velocidad, el conjunto de estos fragmentos de roca que “fluyen” como una sola corriente, se denomina como avalancha de escombros. Se resalta su alto grado de peligrosidad, ya que este tipo de deslizamiento en conjunto con el material pueden viajar en velocidades de 100 hasta 300 kilómetros por hora.

Deslizamientos Rotacionales

Este movimiento es uno de los más comunes, sucede en aquellas masas de tierra que poseen materiales de características homogéneas, cohesivas y suaves, surge superficies que carecen de una parte plana; la cualidad principal del movimiento sucede en forma curva cóncava frente a

la atmósfera, el material en deslizamiento se desplaza formando una especie de capas, y finalmente este se acumula al pie del talud; tal como se muestra en la siguiente imagen.

Imagen 10. Deslizamientos Rotacionales

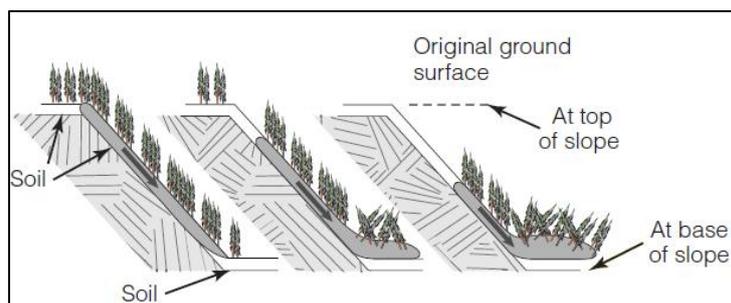


Fuente: Hyndman & Hyndman, 2010.
Elaborado Por: El Autor.

Deslizamientos Traslacionales

Este tipo de deslizamientos generalmente sucede cuando una capa débil de material, se desplaza de forma paralela sobre una superficie subyacente, se desarrolla a lo largo de planos inherentes; a diferencia del movimiento rotacional, este tipo de movimiento se desarrolla con poca profundidad, y una ejemplo de ello, es que cuando ocurre, los arboles presentes en la masa en movimiento, permanecen perpendiculares una vez que el movimiento traslacional ha terminado, se catalogan como peligrosos debido a que se mueven con rapidez y pueden llegar lejos; algunas veces en el momento del deslizamiento se fracturan, formando una especie de avalancha de escombros, tal como se muestra en la siguientes ilustración:

Imagen 11. Movimientos Traslacionales



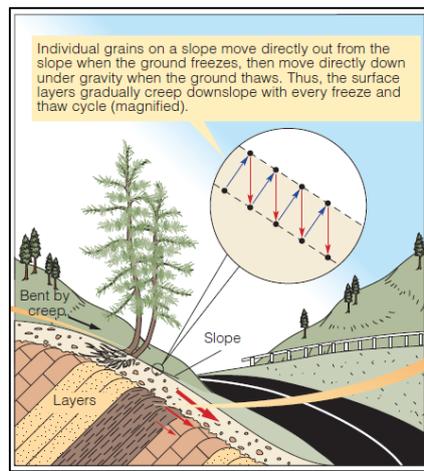
Fuente: Hyndman & Hyndman, 2010.
Elaborado Por: El Autor.

Movimientos de reptación del suelo

Son movimientos con una característica lenta, que se desarrollan en suelos de rocas débiles, cercanas al estrato superficial y no se consideran especialmente peligrosos. La tasa de

velocidad del movimiento decrece a medida que se alcanza una mayor profundidad, ya que fundamentalmente surgen cuando se encuentran más cercanos a la superficie. Al movimiento se lo reconoce como “reptación” ya que el movimiento es físicamente similar al “reptar” de los animales, y se desplaza unos pocos centímetros al año, el movimiento del suelo se realiza de forma perpendicular a la pendiente, y el signo más visible y común de este tipo de deslizamientos se observa cuando la raíz de un árbol parece curva (Hyndman & Hyndman, 2010), pero su tronco se mantiene erguido.

Imagen 12. Movimiento de Reptación



Fuente: Hyndman & Hyndman, 2010.
Elaborado Por: El Autor.

Influencias de los terremotos sobre los deslizamientos

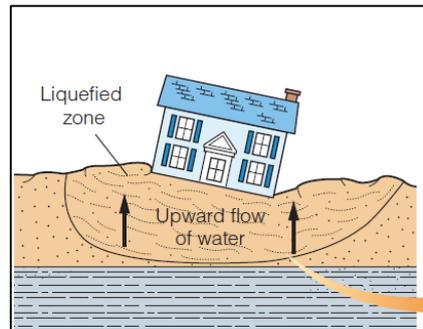
Si un talud es inestable, existe una gran posibilidad que un terremoto influya en su desestabilización incluso sin la presencia de agua, las vibraciones podrían inducir a una falla. Sismos o terremotos que probablemente tengan una magnitud 4 dentro de la escala de Richter, influirán en la generación de deslizamientos de tierra o caídas de rocas o escombros, más aún si la masa de material se encuentra cerca del epicentro del evento telúrico (McGuire, Mason, & Kilburn, 2002).

Se ha comprobado que los taludes más susceptibles frente a movimientos telúricos, son aquellos que se encuentran compuestos por materiales “suaves” como la arcilla y los limos compresibles, ya que el terremoto induce a una licuefacción del suelo, y esto genera inestabilidad y desequilibrio entre las fuerzas motrices y resistentes de la pendiente.

La consecuencia más peligrosa para las construcciones asentadas en sitios de taludes o cercanos a ellos, es la licuefacción del suelo, fenómeno que se puede desencadenar por los terremotos, cuando existe una cantidad de agua en estratos subterráneos, y ésta tiende a ascender por los

movimientos oscilatorios causados por la aceleración del suelo, esto conlleva a que la superficie en dónde se encuentran asentados los plintos de las edificaciones pierdan su estabilidad, el reducirse la consolidación del suelo y su capacidad portante, por la asunción del agua (Hyndman & Hyndman, 2010).

Imagen 13. Licuefacción del Suelo



Fuente: Hyndman & Hyndman, 2010.
Elaborado Por: El Autor.

Mitigación de los daños causados por deslizamientos

En muchos países existen políticas de seguros que cubren los daños causados por un deslizamiento, ya que varios datos muestran que estos pueden originar pérdidas millonarias tanto al sector público como privado; en Estados Unidos los deslizamientos causan pérdidas aproximadas de 2 billones de dólares cada año y alrededor de 7500 muertes. Desde otra perspectiva, los deslizamientos se han acrecentado en las últimas décadas debido al crecimiento desmedido de la población; también existen varios datos que los deslizamientos han representado una mayor amenaza a países en vías de desarrollo (McGuire, Mason, & Kilburn, 2002).

El principio general de ocurrencia de estos desastres, parte de una planificación territorial deficiente (tanto urbana como rural), al permitir que ciertas construcciones se realicen en entornos que, bien es cierto, otorgan una vista del paisaje, pero que al mismo tiempo se encuentran muy cerca de la corona de la pendiente, y aplican una carga constructiva sobre este; muchos desastres naturales han surgido por estos tipos de asentamientos (McGuire, Mason, & Kilburn, 2002).

Mapas de Riesgo de deslizamientos

La mejor manera de evitar un desastre natural, es evitar que se realicen construcciones en zonas peligrosas; los Sistemas de Información Geográfica, son de gran utilidad en este caso, ya que permiten realizar mapas de riesgos, los cuales demarcan el uso permitido del suelo en función

del grado de peligrosidad en el sitio, el alcance de posibles deslizamientos o avalanchas de escombros. A continuación, se enlistan los sitios que, de forma general, en cualquier locación geográfica, representarían un gran riesgo intrínsecamente:

- Áreas montañosas y pendientes escarpadas
- Zonas con escombros sueltos en su superficie
- Laderas que excedan el ángulo local de reposo (entre 30° y 45°)
- Áreas en donde se presentan fuertes periodos de precipitaciones
- Áreas en donde generalmente existen deslizamientos poco profundos en donde la capa superficial es poco profunda en relación a su estrato subyacente
- Sitios en donde estadísticamente han ocurrido varios deslizamientos a lo largo de la historia

Cabe acotar que aquellas laderas que poseen una pendiente menor o igual a 15°, no se tomarán en cuenta para un riesgo o peligro, ya que difícilmente sucederá un evento con este grado de inclinación, y la evidencia muestra que son menos susceptibles a deslizarse (McGuire, Mason, & Kilburn, 2002).

Soluciones de ingeniería

Los principios de solución, suponen procesos complejos, pero que parten de fundamentos básicos; de acuerdo a lo descrito anteriormente, una ladera, talud o quebrada entra en un proceso de deslizamiento, siempre y cuando las fuerzas no se encuentren en equilibrio; por lo tanto, la intervención consiste en buscar que las fuerzas (motrices y resistivas), se encuentren nuevamente en equilibrio; para ello se puede disminuir la carga en la parte superior de la ladera, añadir una carga en el pie del talud, reducir la pendiente con maquinaria pesada, o impedir que el agua fluya por la superficie de la pendiente con la aplicación de concreto lanzado y la impregnación de anclajes que, disminuyen la posibilidad que el ángulo de fricción interna del material actúe como un factor para producir un deslizamiento, existen también drenes que facilitan que el suelo no se sobresature (Hyndman & Hyndman, 2010).

Otra técnica de protección consiste en la colocación de mallas, que tienen la función de evitar el desprendimiento de escombros y partículas de menor tamaño, con la finalidad de que se pueda evitar que, a mediano o largo plazo, este desprendimiento pueda causar un deslizamiento o avalancha de escombros.

Un método efectivo y nada costoso para remover el agua subterránea mediante evapotranspiración, consiste en el plantar especies de árboles y arbustos que cumplen una doble

función; la primera es que facilitan la estabilidad del talud y evitan desprendimiento de partículas con sus raíces, y el segundo consiste en que el agua subterránea estancada en la pendiente es utilizada por las raíces y posteriormente distribuida en toda la planta, lo que lo convierte en un método efectivo y amigable con el ambiente. Finalmente, se puede también aplicar métodos con geotextiles y tuberías enterradas que permiten el drenaje del agua contenida en los estratos a lo largo de la pendiente, y esta fluye encima de geotextiles que la conducen a un punto de descarga, se aplican geotextiles con la finalidad de evitar que el agua drenada erosione el talud (Hyndman & Hyndman, 2010).

Imagen 14. Compensación de cargas

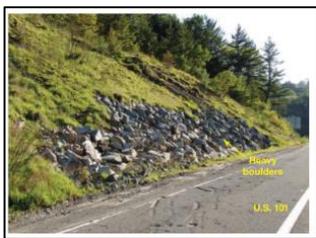


Imagen 16. Geotextiles



Imagen 18. Drenajes



Imagen 15. Mallas de contención

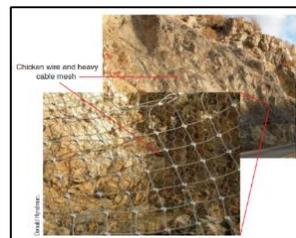


Imagen 17. Muros de contención



Fuente: Hyndman & Hyndman, 2010.
Elaborado Por: El Autor.

Sistemas de Información Geográfica

El término de Sistemas de Información Geográfica, ha sido ampliamente difundido en los últimos años, y su utilización se la ha enmarcado principalmente para tareas de planificación urbana – territorial, análisis ambiental, o al campo sociológico y económico; sin embargo, estas aproximaciones limitan el término a una aplicación o uso de los mismos, pero no relatan un concepto claro; para una conceptualización más precisa en el estudio se lo puede definir de la siguiente forma:

“Un SIG es un sistema de información compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación (López, Posada, & Moreno, 2006).”

El principio básico de utilización, análisis y aplicación de los SIG, se basa en la utilización de capas de información, que se muestran a un multinivel, las diferentes características y estratos de un espacio georreferenciado de una forma determinada, lo que facilita a que de acuerdo a una jerarquía se puedan ir construyendo mapas que pueden ser de utilidad cartográfica; y que son una representación muy acercada a la realidad, de una extensión de terreno con características propias; en la mayor parte de SIG esta representación puede darse mediante dos tipo de datos (que contienen características o conjunto de características individuales), y pueden ser datos figurados en formato “Ráster” o en formato vectorial (López, Posada, & Moreno, 2006).

Imagen 19. Capas de información de los SIG



Fuente: López, Posada & Moreno, 2006.
Elaborado Por: El Autor.

Formato Ráster

Presentan la información en formato de matrices, que digitalmente puede reflejarse en “píxels”, la representación cartográfica queda dividida en celdas a manera de las teselas de un mosaico;

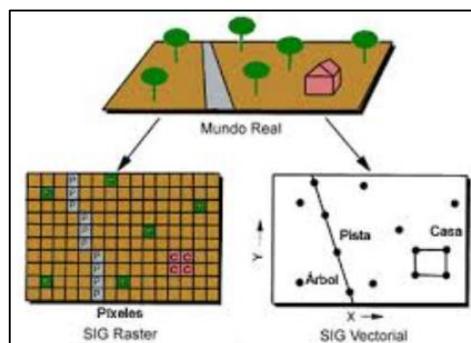
cada pixel posee una información específica, que en conjunto finalmente, se representan con geometría que generalmente puede ser de forma rectangular o cuadrada. Este tipo de representación de la información, resulta muy útil en aplicaciones ambientales, ya que, se puede hacer una digitalización muy cercana a la realidad de un fenómeno, y de esta manera se puede hacer un análisis muy real de su “antes” y “después”.

Formato Vectorial

Este tipo de representación espacial de la información se basa en la utilización única de coordenadas para cada punto de sus datos, los puntos pueden estar representados también a través de funciones matemáticas que concatena también una base de datos; por consiguiente, en este formato de la información pueden representarse puntos, líneas y polígonos que ocupan un lugar en el espacio.

Las bases de datos anexadas a la información en formato vectorial, pueden otorgar características únicas a cada punto o conjunto de puntos de la información, es decir que, son parámetros indicativos en función de un registro; como ejemplo se puede “atribuir” a cada punto parámetros de: longitud, coordenadas, áreas, perímetro, etc.

Imagen 20. Comparación de formato Ráster y Vectorial



Fuente: López, Posada & Moreno, 2006.
Elaborado Por: El Autor.

A continuación, se enlistan y describen brevemente algunas de las aplicaciones más utilizadas con los Sistemas de Información Geográfica:

- Medio Ambiente y recursos naturales: Uso del suelo, vertederos, agentes de impacto ambiental, gestión de recursos naturales.
- Catastro Urbano: gestión y control de la información espacial de bienes urbanos y rurales
- Infraestructuras y transporte: Trazados lineales y conectividad de las redes de transporte de una ciudad o región.

- Redes de servicios básicos: Trazado y planificación de las redes (líneas y nodos) de los servicios básicos (luz eléctrica, agua, datos, telefonía) y su interacción con el medio.
- Protección civil: Detección y evaluación de riesgos, peligros y desastres naturales.
- Mercadotecnia: Análisis geoespacial de mercado, estudios de accesibilidad, y áreas de influencia.
- Planificación urbana: Gestión y control de la normativa urbanística, pago de impuestos, control de tráfico, etc.
- Estudios de patrimonio cultural/histórico: Localizaciones e impactos de los patrimonios arqueológicos, antropológicos e históricos.

Actualmente los Sistemas de Información Geográfica, permiten realizar análisis multicriterio para la obtención de variables como la pendiente, la susceptibilidad a la rotura, y de igual forma la creación de mapas de riesgo o mapas de susceptibilidad, de una manera rápida y eficiente.

La digitalización y obtención de parámetros geomorfométricos e hidrológicos, que involucran variables relacionadas con el desencadenamiento de un deslizamiento, ha facilitado el análisis a escalas micro, meso y macro de las pendientes; lo cual mediante métodos tradicionales sería muy difícil, y tendría un gran costo económico; esto permite que el resultado sea, un trabajo colaborativo en el que se integran varios programas, un manejo de grandes volúmenes de datos, y la aplicación de los criterios técnicos de los entendidos en áreas geográficas, geológicas, geotécnicas y urbanísticas (Santacana, Baeza, Corominas, De Paz, & Marturià, 2002).

Mapas de susceptibilidad

Los mapas de susceptibilidad pueden definirse como representaciones cartográficas, realizadas hoy en día con la ayuda de SIG, para responder a la necesidad de evaluar a la propensión al riesgo de zonas, ciudades o regiones, frente a un peligro natural.

Este tipo de mapas se empezaron a elaborar, con la finalidad de que pueda servir como una medida de mitigación o prevención frente a un peligro, las estrategias en las que se enmarcan pueden enlistarse así:

- **Estrategias anti peligrosidad:** Abarcan una visión en un horizonte de tiempo, probabilidades y propensión del fenómeno a futuro, para determinar espacialmente la Peligrosidad.
- **Estrategias anti vulnerabilidad:** Se encuentra directamente ligada a la peligrosidad.
- **Estrategias de reducción de la exposición:** Exponen de forma espacial la peligrosidad para una zona, y por ende el riesgo; siendo esta representación una medida que se espera que contribuya a la mitigación del riesgo.

Una de las aplicaciones relacionadas a la geotecnia y geología en relación a los mapas de susceptibilidad, ha resultado la influencia que estos tienen, para indicar zonas en donde se hace más necesario un estudio profundo de las variables de la mecánica de suelos, y que los diseños urbanísticos o de edificaciones lleguen a tomar todas las precauciones necesarias en base al análisis integrado que se efectúe (Ayala-Carcedo, 2003).

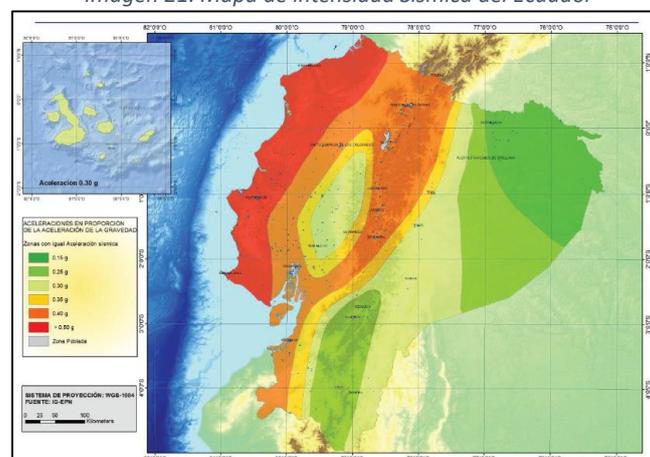
Vulnerabilidad física de las estructuras asociada a deslizamientos

El contexto en el que se encuentran muchas construcciones constituidas en una zona montañosa, escarpada, o con muchos accidentes topográficos como la ciudad de Ambato, la cual emplaza sus límites geopolíticos en una parte de la Cordillera de los Andes, en el Ecuador que es un país con alto riesgo sísmico y volcánico por la subducción entre las placas Sudamericana y de Nazca; se encuentran expuestas a peligros naturales que tienen relación con el suelo, ya sea por la excitación de este, por medio de las aceleraciones del suelo producidas en un sismo, o también por las consecuencias que puede generar este en laderas inestables, con pendientes escarpadas, o en donde se encuentra saturado de agua el suelo.

Por ello, es necesario ahondar en el análisis de la interacción y relación junto con las probables causas y consecuencias que pueden tener los deslizamientos, los sismos y su incidencia en las estructuras (viviendas, edificios administrativos, patrimonios) construidos en zonas de alto riesgo, o al menos cercanas a estos.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción del Ecuador (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015), recomienda que para cualquier construcción que se realice en el país, se tome en cuenta el mapa de aceleraciones máximas en rocas, esperadas para el sismo de diseño, y se presenta la siguiente ilustración:

Imagen 21. Mapa de intensidad Sísmica del Ecuador



Fuente: MIDUVI, 2015.
Elaborado Por: El Autor.

En una tabla resumida, se muestran las aceleraciones de roca, de acuerdo al mapa de zonificación de la NEC:

Imagen 22. Factor Z de aceleración del suelo en el Ecuador

| Zona sísmica | I | II | III | IV | V | VI |
|-------------------------------------|------------|------|------|------|------|----------|
| Valor factor Z | 0.15 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | ≥ 0.50 |
| Caracterización del peligro sísmico | Intermedia | Alta | Alta | Alta | Alta | Muy alta |

Fuente: MIDUVI, 2015.
Elaborado Por: El Autor.

Nota: Los valores expuestos se muestran en unidades de “gales”, unidad que relaciona la aceleración de la gravedad con el suelo.

También la NEC recomienda que se tomen en cuenta “sub factores” que intervienen en el comportamiento del suelo en un sismo, y se determinan mediante sus características propias, estos factores (Fd, Fa y Fs) se utilizan para elaborar el espectro de diseño sísmico de una edificación, y la Norma los clasifica de la siguiente manera:

Imagen 23. Tipo de Suelo de acuerdo a la NEC 2015, Ecuador

| Tipo de perfil | Descripción | Definición |
|--|--|---|
| A | Perfil de roca competente | $V_s \geq 1500$ m/s |
| B | Perfil de roca de rigidez media | 1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s |
| C | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | 760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s |
| | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios | $N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ kPa |
| D | Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | 360 m/s $> V_s \geq 180$ m/s |
| | Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones | $50 > N \geq 15.0$ 100 kPa $> S_u \geq 50$ kPa |
| E | Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | $V_s < 180$ m/s |
| | Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas | $IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa |
| F | Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases: | |
| | F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como, suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. | |
| | F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). | |
| | F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75) | |
| | F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m) | |
| | F5—Suelos con contrastes de impedancia o ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte. | |
| F6—Reellenos colocados sin control ingenieril. | | |

Fuente: MIDUVI, 2015.
Elaborado Por: El Autor.

Existe también una relación entre la aceleración del suelo, y el tipo de acuerdo a la zona de estudio, estos factores del suelo se denominan como:

- **Fa:** Coeficiente de amplificación del suelo.
- **Fd:** Coeficiente de amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca.
- **Fs:** Coeficiente que considera el comportamiento no lineal del suelo.

En el capítulo de Geotecnia y Cimentaciones, la NEC recomienda que para todas las construcciones legalmente establecidas se realicen ensayos e investigaciones del subsuelo para identificar, clasificar, y caracterizar dentro de parámetros físicos, mecánicos e hidráulicos a los suelos; con la finalidad de que una vez obtenidos los resultados y las variables de diseño, se puedan considerar también posibles mecanismos de falla y deformación y que, por lo tanto, se puedan determinar recomendaciones para estructuras de contención como muros de hormigón armado o ciclópeo, y también para las cimentaciones de la edificación, y, en caso de que estas tengan una incidencia en la estabilidad de los taludes y laderas por las cargas que se agregan, se puedan tomar medidas técnicas de prevención y mitigación ante una posible activación de proceso de deslizamientos.

Modelos de vulnerabilidad física

En concordancia con las diferentes ópticas que tienen diferentes autores sobre un modelo aplicable para relacionar la vulnerabilidad física de una estructura frente a un deslizamiento, la clasificación se divide en:

- **Modelos Cualitativos:** Se califica bajo parámetros que utilizan “palabras” que hacen alusión a un grado de daño de la estructura, este puede ser leve, moderado o severo; este tipo de modelo tiende a ser relativo en su aplicación. Estos modelos generalmente se representan a través de una matriz de riesgos en donde tanto la amenaza como la vulnerabilidad se definen de manera cualitativa.
- **Modelos Semicuantitativos:** Es un modelo en el cual la vulnerabilidad es definida de manera cuantitativa, sin embargo, su determinación se basa en relaciones empíricas y no en una modelación de la respuesta estructural; en este modelo se añade un índice de vulnerabilidad que puede ir desde 0 (ningún daño a la estructura), hasta 1 (colapso).
- **Modelos Cuantitativos:** En este caso se utiliza la valoración de la respuesta estructural obtenida mediante la elaboración de un modelo, se pueden también aplicar curvas de fragilidad o vulnerabilidad; la magnitud se expresa en términos de costos de las construcciones e infraestructura.

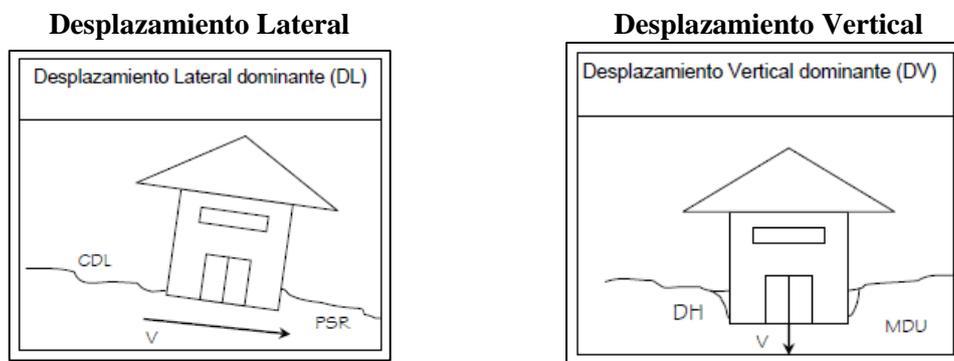
Las solicitaciones que pueden generarse por el movimiento de los terrenos son las siguientes:

Desplazamientos y deformaciones:

- **Vertical dominante:** característicos de la parte alta de los deslizamientos rotacionales.
- **Lateral dominante:** característicos de movimientos traslacionales y flujos.
- **Presión lateral:** Es el frente de contacto entre deslizamientos y estructuras expuestas.
- **Acumulación resultante:** es un efecto de la presión lateral, es un efecto progresivo en los deslizamientos y de produce de manera instantánea en los desprendimientos.
- **Socavación:** Se refiere a la abrasión de los materiales transportados, y se asocia a flujos torrenciales.

Las solicitaciones descritas anteriormente inciden mediante fuerzas mecánicas en la estructura, pero que, también evolucionan a una forma dinámica sobre los elementos estáticos expuestos; generalmente la tierra ejerce fuerzas de presión en un elemento, sin embargo, esta presión se considera bajo condiciones estáticas de la tierra, es por ello que, para un análisis más exacto, es recomendable que se tomen en cuenta las fuerzas cuasi-estáticas que se aplican sobre una estructura (Cifuentes, 2011).

La incidencia de los dos tipos de deslizamiento que se describieron anteriormente (lateral y vertical), se forman de la siguiente manera:



Fuente: Cifuentes, 2011.
Elaborado Por: El Autor.

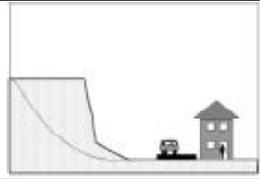
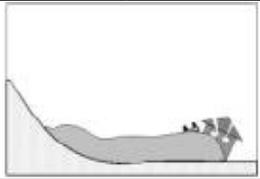
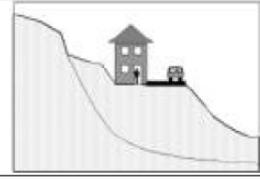
En base a las posibles fallas que puede tener una estructura, los factores desencadenantes que también pueden operar como agravantes en el momento de un deslizamiento y de la capacidad resistente de una estructura son muchos, sin embargo, se exponen seguidamente factores que pueden agravar el efecto de daño sobre una estructura:

- Tipo de estructura
 - Sistema estructural
 - Diseño y composición de los elementos estructurales

- Superficie neta que ocupa la estructura
- Número de pisos
- Edad de la estructura
- Mantenimiento
- Materiales
- Ejecución del proceso constructivo
- Calidad de mano de obra utilizada

Estos factores, en conjunto con el deslizamiento pueden ocasionar de forma general dos posibles escenarios:

Tabla 4. Tipos de movimientos relacionados con las estructuras

| | |
|--|---|
| <p>Presiones ejercidas por la masa del deslizamiento</p> | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><i>Antes</i></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><i>Después</i></p>  </div> </div> |
| <p>Asentamientos diferenciales o inclinaciones</p> | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><i>Antes</i></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><i>Después</i></p>  </div> </div> |

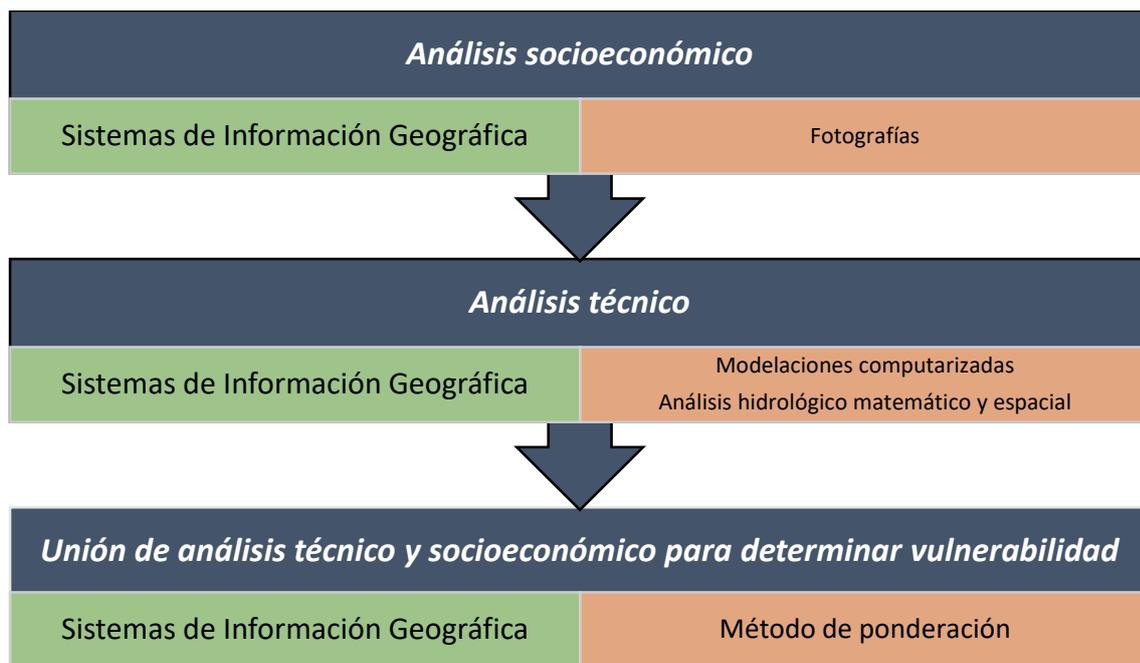
Fuente: Cifuentes, 2011.
Elaborado Por: El Autor.

Análisis y desarrollo del caso de estudio

De acuerdo a la metodología propuesta, se aplicarán Sistemas de Información Geográfica para el análisis y desarrollo del caso de estudio, con la finalidad de obtener y procesar información del tipo cuantitativa, y así mismo que se puedan mostrar posteriormente resultados mediante una ponderación y de esta forma exponer el grado de vulnerabilidad de las zonas que se encuentran más densamente pobladas y en donde también se encuentran las laderas y quebradas más propensas a un peligro natural, en esta caso, a un deslizamiento desencadenado por los factores principales que se han descrito en el Marco Teórico de la investigación: por la sobreutilización del suelo por actividades antrópicas no ordenadas, periodos de fuertes precipitaciones, suelo sobresaturado por niveles freáticos y movimientos sísmicos que desestabilicen un talud hasta desencadenar un movimiento.

El análisis se realizará de forma consecutiva; primero se expondrán las variables sociológicas respaldadas por fotografías tomadas en campo y cartografía, posteriormente se realizará el análisis técnico denotando cartográficamente las pendientes a través de un Modelo Digital del Terreno y una comparativa entre los resultados de pendientes obtenidas, frente a los ya existentes realizados por el Instituto Geográfico Militar del Ecuador; posteriormente se mostrará la modelación de una vivienda tipo y las cargas que estas ejercen sobre el suelo a través de sus cimentaciones, se calculará el rango de precipitaciones a través de un rápido análisis hidrológico de la zona más crítica determinada por la superposición de capas del MDT, las zonas más densamente pobladas y las fotografías tomadas in situ, con la finalidad de determinar la influencia de las precipitaciones sobre las laderas y quebradas; en el apartado técnico también se modelará un talud promedio, aplicando en un modelo las cargas por lluvia, y en otro modelo las cargas tipo de una vivienda, y observar su incidencia.

Finalmente, se realizará un análisis multicriterio utilizando SIG para unificar todas las variables obtenidas y determinar las zonas mayormente vulnerables frente a los deslizamientos junto con un método de ponderación básico; de manera concluyente para este apartado se relatarán los resultados y conclusiones desde la perspectiva del autor frente al análisis efectuado. A continuación, se muestra un resumen de los procesos a seguir a través de un esquema conceptual lógico.



Elaborado Por: El Autor.

Análisis socioeconómico del caso de estudio

Con respecto a este apartado se considera importante determinar los factores de este ámbito que pueden contribuir al desarrollo, generación o desencadenamiento de los deslizamientos, para el efecto, se involucran variables de forma directa o indirecta, a continuación, se enlistan los factores que se tomarán en cuenta mediante el análisis cartográfico:

- Nivel socioeconómico
- Densidad poblacional
- Conflictos de uso del suelo para zonas consolidadas
- Aptitud física constructiva del suelo
- Valores catastrales

- **Nivel socioeconómico**

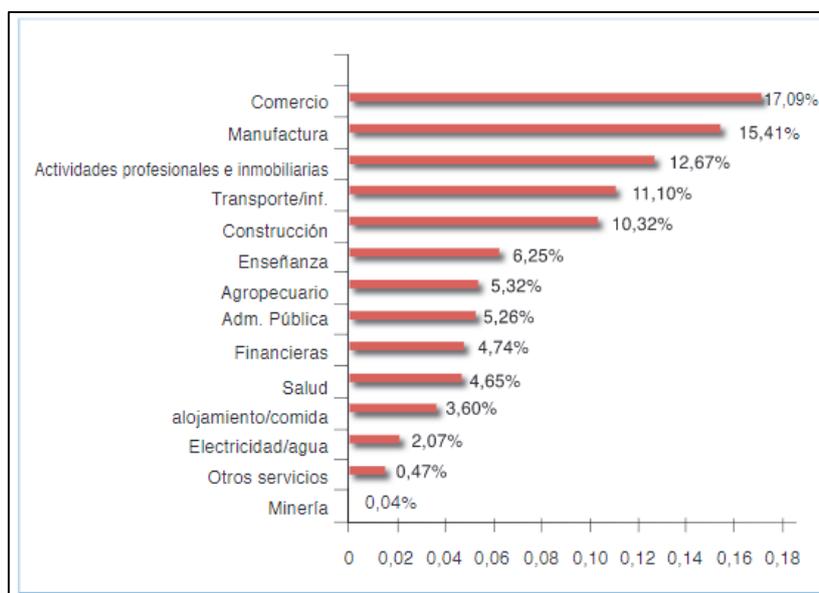
Como se mostró anteriormente, los niveles socioeconómicos mostrados y vinculados a la cartografía denotan la siguiente clasificación:

- Bajo
- Medio bajo
- Medio
- Medio Alto

- Alto (Instituto Geográfico Militar, 2019)

La ciudad de Ambato se encuentra en el centro del País, y es considerada como un punto importante y crucial para el comercio de toda la región andina, esto se debe a que muchas fuentes de materia prima se encuentran allí, además de que existen una gran parte del sector industrial que proporciona manufactura para la elaboración de carrocerías de buses; de manera consiguiente se puede traer a colación también el hecho de que en la zona rural de la ciudad se desarrollan cultivos de hortalizas y frutas a lo largo de todo el año, finalmente el turismo es considerada la última fuente de ingresos para la economía local.

Imagen 24. Valor agregado bruto de la provincia de Tungurahua por cada sector



Fuente: Universidad Técnica de Ambato, 2014
Elaborado Por: El Autor.

Esta matriz productiva y económica muestra que claramente existirá una brecha social, y por consiguiente tiene incidencia en los niveles económicos de los diferentes estratos sociales que existen; por ello es conocido que, en la ciudad de Ambato, los barrios/sectores en los que habitan personas con una buena posición económica (Medio Alto y Alto) son los sectores de “Ficoa” y “Miraflores” mostrados en la cartografía, estos dos sectores se emplazan a en las cercanías de una fracción del río Ambato; se pueden apreciar por lo tanto en dichos sitios, grandes viviendas con acabados de lujo, pero también en el caso de hallarse cerca de una ladera o quebrada, poseen estructuras de contención como muros de hormigón armado, o muros anclados con sus drenajes respectivos. Sin embargo, en esta zona también se aprecian en una menor cantidad, viviendas pertenecientes a familias con estratos sociales “Medio Bajo y Bajo”, es claro a simple vista que la mayor parte de esta porción de viviendas fueron construidas sin la supervisión de un profesional, y sin un permiso legal constructivo emitido por el municipio

de Ambato, por ello carecen de estructuras de protección y contención, y en sí el sistema constructivo de estas viviendas se cataloga como inestable y anti-técnico.

Las fotografías presentadas a continuación son relativas a la cartografía, y fueron tomadas por el autor a través de una visita de campo a lo largo de las principales laderas y quebradas de la zona urbana de Ambato, como se ha mencionado anteriormente, estas se ubican a lo largo de las orillas del río Ambato y en sus espacios colindantes.

Tabla 5. Mosaico fotográfico de las viviendas cercanas al río Ambato

| | |
|--|---|
|  <p>Sector de "La Victoria"</p> |  <p>Sector de "La Victoria"</p> |
|  <p>Sector de "Atocha"</p> |  <p>Sector de "Ficoa"</p> |
|  <p>Sector de "Ficoa"</p> |  <p>Sector de "Ficoa"</p> |
|  <p>Sector de "Ficoa"</p> |  <p>Sector de "Ficoa"</p> |

Fuente: El Autor, 2020.

MAPA DE NIVEL SOCIOECONÓMICO

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

● Coordenada de Referencia

Río Principal

— Río Ambato

Nivel Socioeconómico

- MEDIO BAJO
- MEDIO ALTO
- MEDIO
- BAJO
- ALTO

Barrios en Análisis

Nombre

- Atocha
- Ficoa
- La Victoria
- Miraflores

DESCRIPCIÓN:

En el mapa se muestra en un rango de colores los diferentes niveles socioeconómicos de la zona urbana consolidada de la ciudad de Ambato, es importante resaltar la diferencia entre los estratos urbanos y rurales, al tener diferentes ingresos económicos, fuentes y condiciones de empleo, las parroquias rurales poseen un nivel socioeconómico de medio a bajo, mientras que en el casco central de la ciudad, incluidos los barrios del oeste, poseen estratos socioeconómicos medio altos y altos.

Fuente: ESRI, 2020 - SNI, 2020 - IGM, 2019.



ESCALA: 1:25,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros



Diagrama de Localización



Coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."

Trabajo de Fin de Máster
MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



UNIBA
 Centro Universitario
 Internacional
 de Barcelona



CENTRO DE ESTUDIOS:
 UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA

ELABORADO POR:
 Alejandro Acosta Araujo - Alumno

FECHA:
 MAY 2020

TUTOR:
 Justino Losada Gómez

○ **Densidad poblacional**

Como se muestra la información en el apartado del inventario ambiental, la zona urbana de la ciudad de Ambato posee una mayor consolidación y por lo tanto una mayor densidad poblacional, ésta también se relaciona con el número de viviendas (legales o ilegales) construidas en la zona de análisis, y mostrará un indicio claro de aquellos lugares cercanos a laderas y quebradas que presentan una sobreexplotación del suelo para uso residencial o actividades comerciales.

De acuerdo al (INEC, 2010) el número promedio de personas por cada hogar es de 3.47 hab/hogar, lo que nos conlleva al siguiente cálculo:

A= habitantes/hectárea= 250 (se toma un valor promedio dentro del área de estudio para el cálculo tipo)

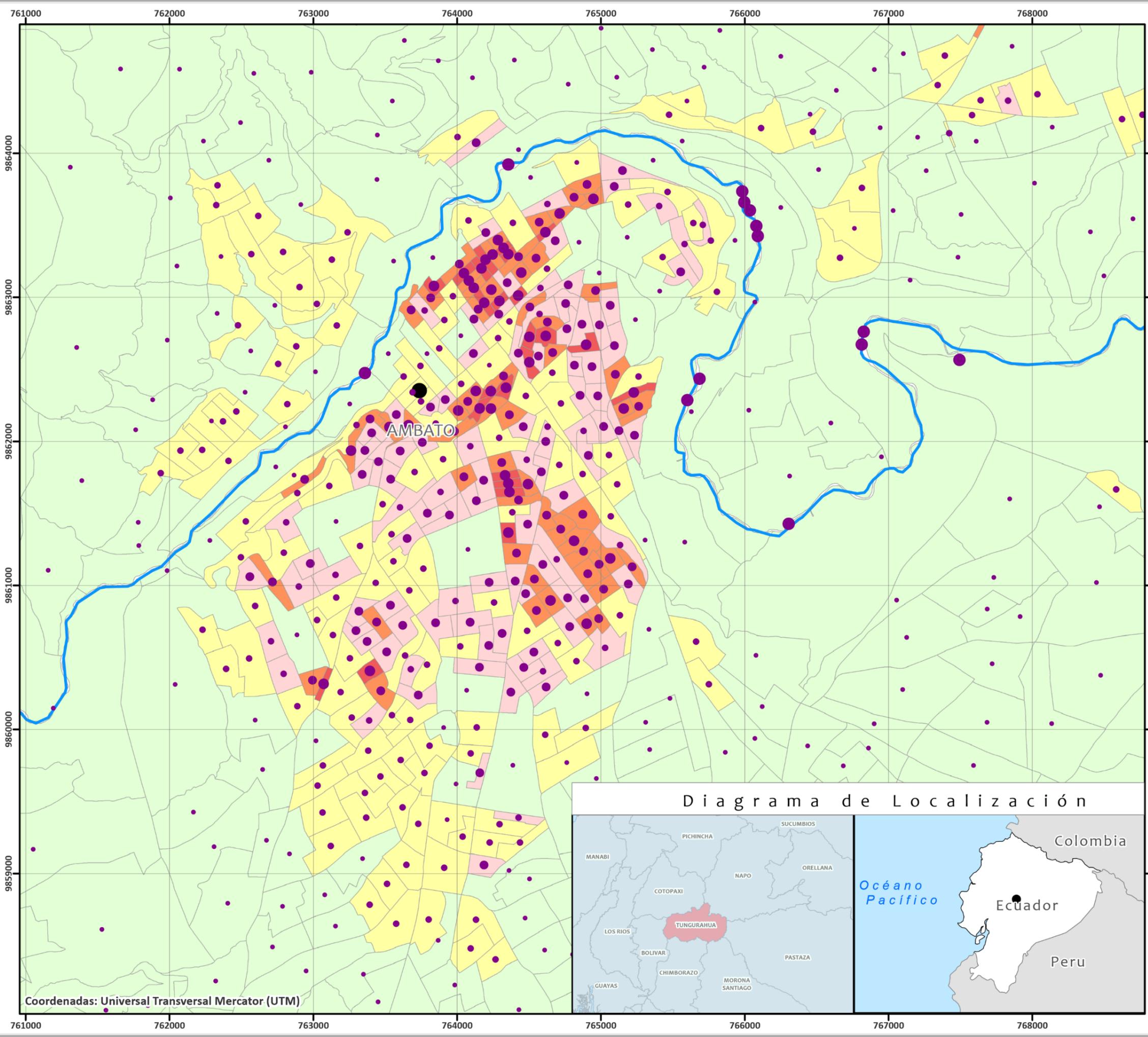
B= habitantes/hogar= 3.47 (Valor tomado del Instituto Nacional de Estadística y Censos para la ciudad de Ambato)

$$\#viviendas\ por\ cada\ hectárea = A / B$$

$$\#viviendas\ por\ cada\ hectárea = \frac{250\ hab/ha}{3.47\ hab/hogar}$$

$$\#viviendas\ por\ cada\ hectárea = 72.04\ hogares/hectárea$$

Se asume el valor obtenido como un número entero, por lo tanto, son 72 hogares por hectárea dentro del área de análisis, por consiguiente, se presenta la cartografía con símbolos y colores graduados para demarcar aquellas áreas en donde hay una mayor concentración de habitantes, de acuerdo a la ecuación realizada, el número de hogares o edificaciones por hectárea. En la etapa de calificación y ponderación de la vulnerabilidad se detallarán las relaciones de vivienda por hectárea para cada rango expuesto en la cartografía siguiente.



MAPA DE DENSIDAD POBLACIONAL

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

- Coordenada de Referencia
 - Río Principal**
 - Río Ambato
- Rango de Densidad Poblacional (hab/Ha)**
- | | |
|-------------|-------------|
| ● 1 - 52 | ■ ≤ 52 |
| ● 53 - 114 | ■ 53 - 114 |
| ● 115 - 183 | ■ 115 - 183 |
| ● 184 - 275 | ■ 184 - 275 |
| ● 276 - 528 | ■ 276 - 528 |

DESCRIPCIÓN:

En el mapa se presentan mediante una clasificación graduada de colores relativa a una cantidad, la densidad poblacional expresada en función del número de habitantes por cada hectárea, se aprecia que en la zona urbana existe una mayor densidad de población, al ser una superficie mayormente consolidada y en dónde se encuentran la mayor parte de actividades antrópicas y las residencias.

Fuente: ESRI, 2020 - SNI, 2020 - SUIA, 2020.



ESCALA: 1:25,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros



"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."
 Trabajo de Fin de Máster
MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



CENTRO DE ESTUDIOS:
 UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA

| | |
|---|----------------------------|
| ELABORADO POR: Alejandro Acosta Araujo - Alumno | FECHA: MAYO 2020 |
| TUTOR: Justino Losada Gómez | |

Coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)

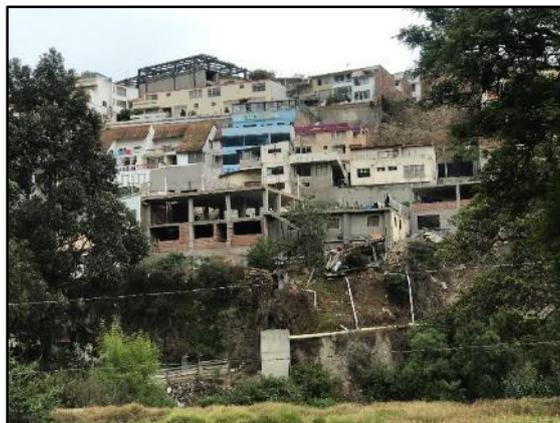
- **Conflictos de uso del suelo para zonas consolidadas**

Las zonas consolidadas han sido denominadas, como aquellos espacios en los cuales el uso del suelo se ha determinado para los asentamientos poblacionales en donde el “suelo urbano” posee la totalidad de los servicios, equipamientos e infraestructura necesaria (Gobierno del Ecuador, 2016).

Específicamente dentro de la zona urbana de la ciudad de Ambato, la mayor parte de la superficie que se observa en la cartografía, devela un uso adecuado del suelo, este criterio es tomado en base a la geomorfología y las dinámicas sociales que se desenvuelven en dicha superficie, y ante las cuales se presta el uso del suelo; sin embargo, también se develan zonas segregadas, en donde se ha determinado que el uso del suelo en el momento del análisis (Año 2019) se considera como “Sobreutilizado Severo”, esto debido a lo que se precisa en la presenta investigación, es decir, en la construcción informal, desordenada y anti-técnica de viviendas, en zonas de alto riesgo; la superficie total de estas zonas suma un valor total de 980.28 hectáreas; posteriormente se presentará el análisis geomático en base a la superposición de estos dos componentes (socio-económico y sobreutilización del suelo), con la finalidad de encontrar posibles causas, al igual que para determinar el grado de vulnerabilidad.

Se visualiza que la zona de análisis (cercana al río Ambato), demarca lo que se planteaba desde un inicio como una conjetura, que en los lugares en donde el relieve topográfico se presenta de forma más irregular, se construyen muchas viviendas y también se realiza la sobre explotación del suelo, al grado de afectar a sus componentes y propiedades físicas, mecánicas y edafológicas.

Fotografía 1. Viviendas cerca a la orilla del río Ambato



Fuente: El Autor, 2020.

MAPA DE CONFLICTOS DE USO DEL SUELO PARA ZONAS CONSOLIDADAS

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

● Coordenada de Referencia

Río Principal

— Río Ambato

Uso del Suelo Consolidado

/// NO APLICA

SOBREUTILIZADO LIGERO

SOBREUTILIZADO MODERADO

SOBREUTILIZADO SEVERO

SUBUTILIZADO

USO ADECUADO

DESCRIPCIÓN:

En el presente mapa se exhiben mediante una clasificación graduada de colores las zonas de la urbe de acuerdo a su uso en relación a los posibles conflictos que podrían generarse en el suelo; manejando un rango desde la subutilización hasta su sobreutilización severa; es importante destacar que la zona de análisis del presente estudio (cercana al río Ambato) se encuentra catalogada en gran proporción como una zona en donde el suelo se encuentra sobreutilizado de forma severa.

Fuente: ESRI, 2020 - SNI, 2020 - IGM, 2020.



ESCALA: 1:25,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S

Proyección: Transverse Mercator

Datum: WGS 1984

Unidad: Metros

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."

Trabajo de Fin de Máster

MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



CENTRO DE ESTUDIOS:

UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA

ELABORADO POR:

Alejandro Acosta Araujo - Alumno

FECHA:

JUNIO 2028

TUTOR:

Justino Losada Gómez

Diagrama de Localización

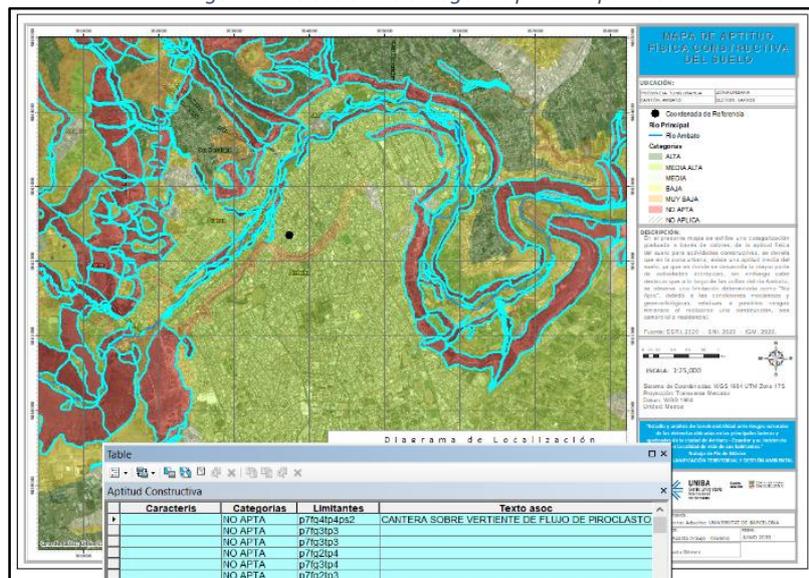


Coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)

- **Aptitud física constructiva del suelo**

La aptitud física constructiva del suelo (AFC), hace referencia a las propiedades que posee el suelo, sobre todo a nivel físico y mecánico, los factores que principalmente lo conforman son: relieve, pendiente y litología; aunque también intervienen dentro de su análisis el tipo de material y los niveles freáticos (Suango-Sánchez, y otros, 2018), para su determinación se realizó un análisis geomático en el cual se realizó una superposición entre la capa de categorías de AFC, junto con un mapa base.

Imagen 25. Selección de categorías para mapa AFC



Adicionalmente se resalta una selección por atributos de aquellas zonas de la urbe de Ambato, que se hallan dentro de la categoría “No Apta”, con el fin de confirmar si estas se encuentran de acuerdo a lo presumido al inicio de la investigación, de acuerdo a componentes geomorfológicos de la ciudad.

Bajo este planteamiento en la cartografía se indica que los planteamientos iniciales, obedecen a los factores de la Aptitud Física constructiva, en donde se vislumbra que la zona de análisis es considerada como “No Apta” para la construcción, y a la vez se denota en la tabla de atributos de la selección, que las pendientes que conforman esta categoría demarcan valores promedio en un rango que va del 100 al 200%, paralelamente dichas superficies se conforman en su mayoría por suelos del tipo franco-arenoso, con drenajes “bueno a moderado”, esto también demuestra que muchas de estas zonas se encuentran cerca de laderas o quebradas, que han sido consideradas como cursos de escorrentía para aguas lluvia.

MAPA DE APTITUD FÍSICA CONSTRUCTIVA DEL SUELO

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

● Coordenada de Referencia

Río Principal

— Río Ambato

Categorías

- ALTA
- MEDIA ALTA
- MEDIA
- BAJA
- MUY BAJA
- NO APTA
- /// NO APLICA

DESCRIPCIÓN:

En el presente mapa se exhibe una categorización graduada a través de colores, de la aptitud física del suelo para actividades constructivas, se revela que en la zona urbana, existe una aptitud media del suelo, ya que es donde se desarrolla la mayor parte de actividades antrópicas, sin embargo cabe destacar que a lo largo de las orillas del río Ambato, se observa una limitación determinada como "No Apta", debido a las condiciones mecánicas y geomorfológicas, relativas a posibles riesgos inmersos al realizarse una construcción, sea comercial o residencial.

Fuente: ESRI, 2020 - SNI, 2020 - IGM, 2020.



ESCALA: 1:25,000



Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."

Trabajo de Fin de Máster

MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



UNIBA
 Centro Universitario
 Internacional
 de Barcelona

Centro
 adscrito



CENTRO DE ESTUDIOS:

UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA

ELABORADO POR:

Alejandro Acosta Araujo - Alumno

FECHA:

JUNIO 2020

TUTOR:

Justino Losada Gómez

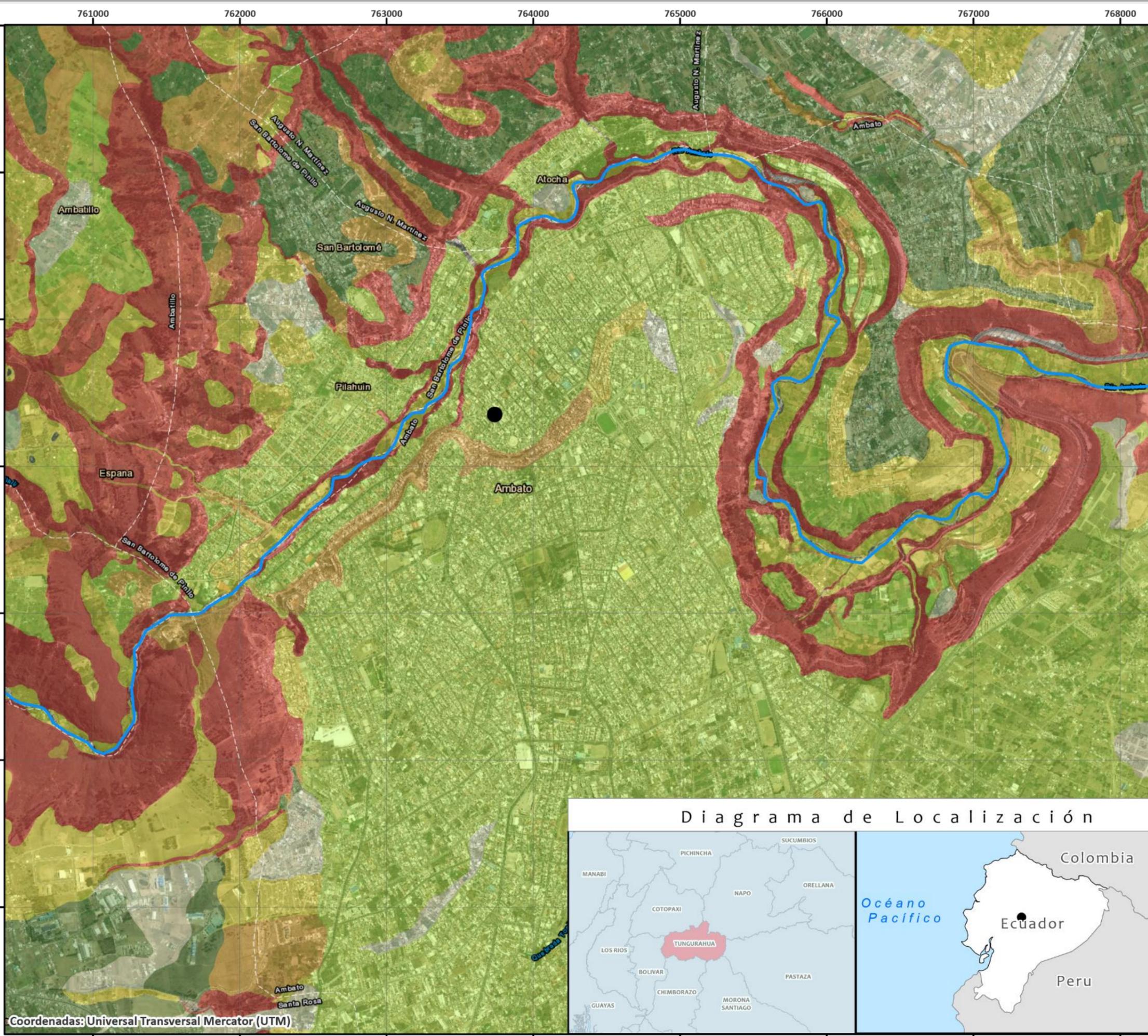


Diagrama de Localización



Coordenadas: Universal Transversal Mercator, (UTM)

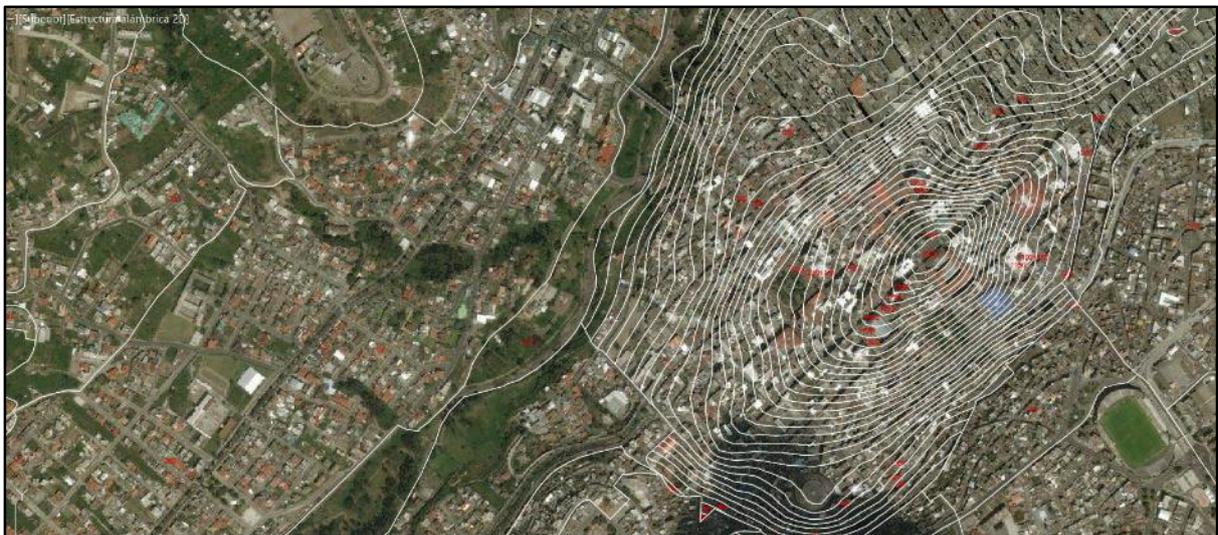
- **Valores Catastrales**

Se obtuvo información actualizada (Año 2020) proporcionada por el Municipio de Ambato, en donde se destacan los valores catastrales de acuerdo cada sector de la ciudad. Cada año los propietarios de “suelo” urbano o rural, al igual que los propietarios de viviendas, edificaciones con fines comerciales, etc., cancelan a la Municipalidad de Ambato un valor de acuerdo a su extensión, al tipo de acabados de la edificación, a su distancia libre desde el cerramiento hasta las calles, uso del suelo, y altitud; por lo tanto, los valores varían cada año en función a la depreciación o a las posibles ampliaciones estructurales y arquitectónicas que se puedan realizar, sin embargo, los valores a cancelarse se cuantifican en función a un precio “base” determinado por las condiciones sociales y demográficas de la ciudad, uso del suelo, rentabilidad, entre otros factores, y este valor se constituye como un dato importante para la presente investigación.

La presentación de esta variable es de mucha utilidad en el momento de realizar la superposición de capas y variables, y tener un resultado de la vulnerabilidad en relación al grado de participación o inmersión con el que cuenta el factor económico y social, determinado por el tipo de vivienda y su tarifa de pago. De la misma forma, una vivienda perteneciente a una familia con altas posibilidades económicas, a la par podrá implementar infraestructuras a su vivienda que mitigarían el riesgo, incluso si ésta se emplaza en una zona geomorfológica escarpada.

Es por ello determinante el componente del valor catastral, nos permita llegar a una conclusión posterior que se confirme con las observaciones en campo.

Imagen 26. Valores Catastrales Georreferenciados



MAPA DE VALORES CATASTRALES DEL SUELO

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

● Coordenada de Referencia

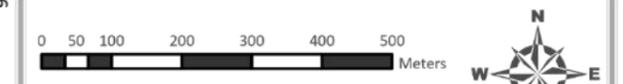
Río Principal

— Río Ambato

DESCRIPCIÓN:

En el presente mapa se exhibe una esquematización del valor catastral establecido por el Municipio de Ambato, para el suelo. Se ha dividido el suelo por rangos de valores representados en una escala de colores, junto con su respectiva leyenda; el costo más alto del suelo se observa en el centro de la zona urbana de la ciudad sobre todo por el aspecto comercial, posteriormente los valores del suelo se fraccionan de acuerdo a las zonas residenciales, en donde se destacan los sitios de análisis, cercanos al río Ambato, por su alto valor en comparación a otras zonas residenciales de la urbe.

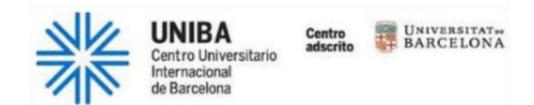
Fuente: ESRI, 2020 - GADM Ambato, 2020.



ESCALA: 1:10,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."
 Trabajo de Fin de Máster
 MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



| | |
|--|----------------------|
| CENTRO DE ESTUDIOS: UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA | |
| ELABORADO POR: Alejandro Acosta Araujo - Alumno | FECHA: JUNIO 2020 |
| TUTOR: Justino Losada Gómez | |

Valor Catastral

Precio por m2 (USD)

| |
|-------------|
| 3 - 50 |
| 51 - 120 |
| 121 - 220 |
| 221 - 350 |
| 351 - 550 |
| 551 - 800 |
| 801 - 1050 |
| 1051 - 1400 |
| 1401 - 1700 |
| 1701 - 2000 |

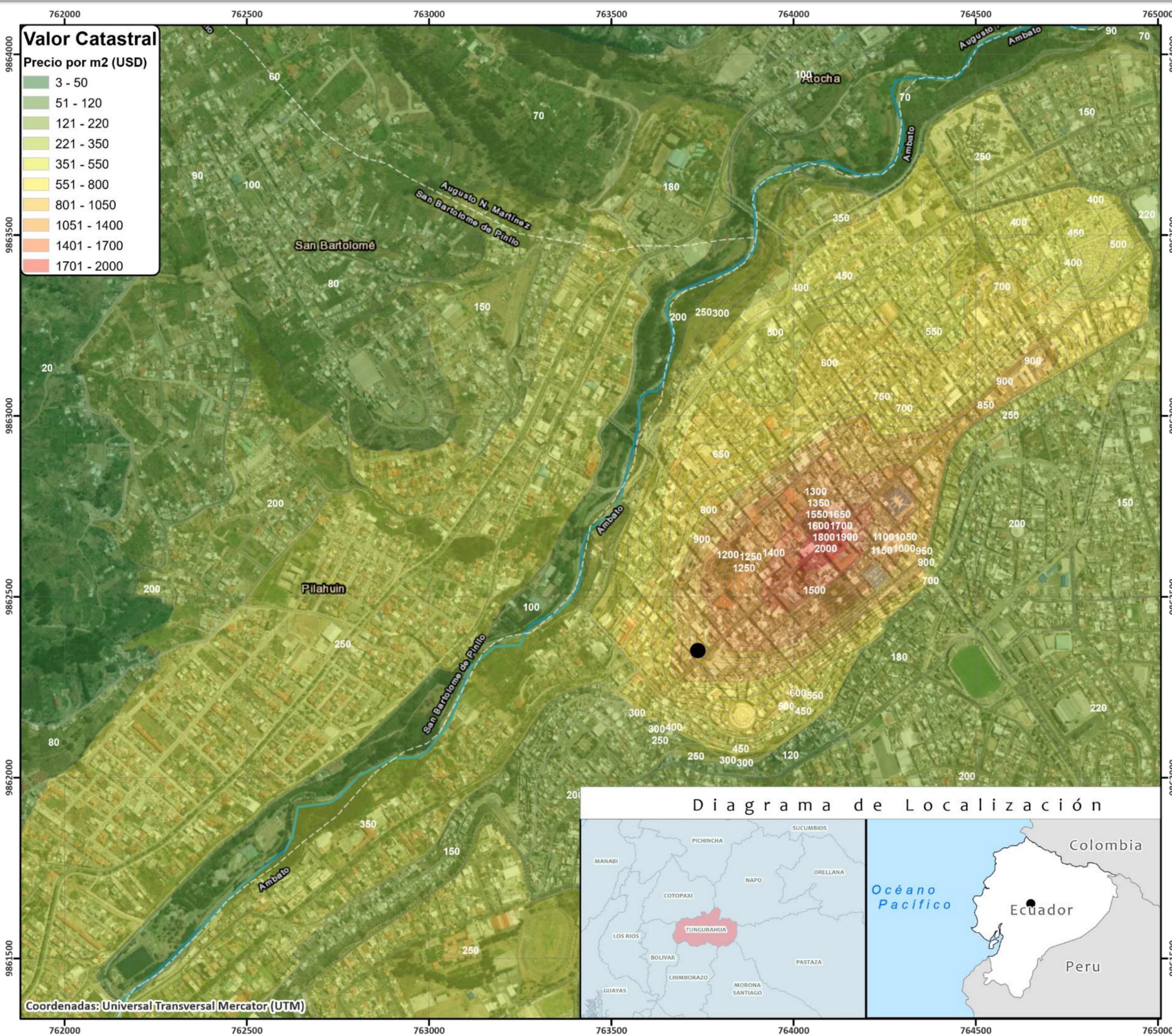


Diagrama de Localización



Coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)

Análisis técnico del caso de estudio

En este apartado se desarrollan los parámetros más significativos considerados para la investigación, desde el punto de vista técnico y de ingeniería, los mismos que se han tomado en referencia a un análisis de incidencia en el aumento o disminución de la vulnerabilidad, como factores externos; por lo tanto, a continuación, se explican los siguientes componentes, bajo la utilización de modelos cartográficos, modelos digitales estructurales computarizados y cálculos matemáticos generales.

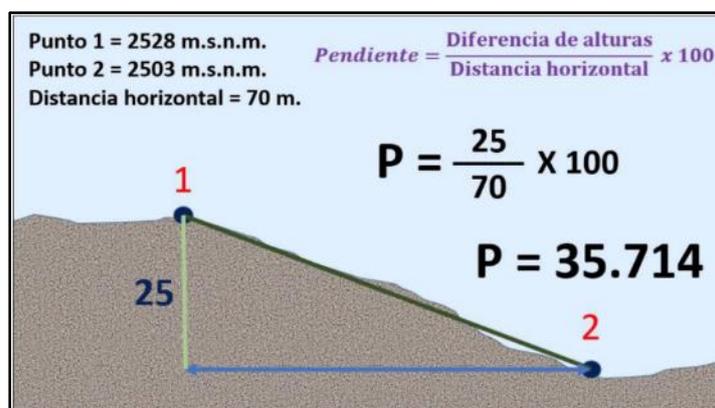
Los puntos que se desarrollarán en esta sección son:

- Mapa de pendientes
- Análisis hidrológico y su influencia en la erosión
- Determinación de cargas sobre el terreno
- Estabilidad de taludes

• Mapa de Pendientes

De forma general, se denomina pendiente a la relación matemática entre dos variables, una constante vertical y una horizontal; ésta se puede expresar en grados o en porcentaje; dentro del contexto cartográfico de estudio, para la determinación de una pendiente, son de suma utilidad los valores de elevación del terreno en relación al mar, lo que generalmente se conoce como “metros sobre el nivel del mar”. En el presente trabajo, las pendientes, se determinarán computacionalmente en el software, bajo el siguiente esquema de cálculo:

Imagen 27. Ejemplo de cálculo de pendiente



Fuente: Gómez, Díaz & López, 2019

Ejemplo de cálculo

Elevación Punto 1: 2528 m.s.n.m.

Elevación Punto 1: 2503 m.s.n.m.

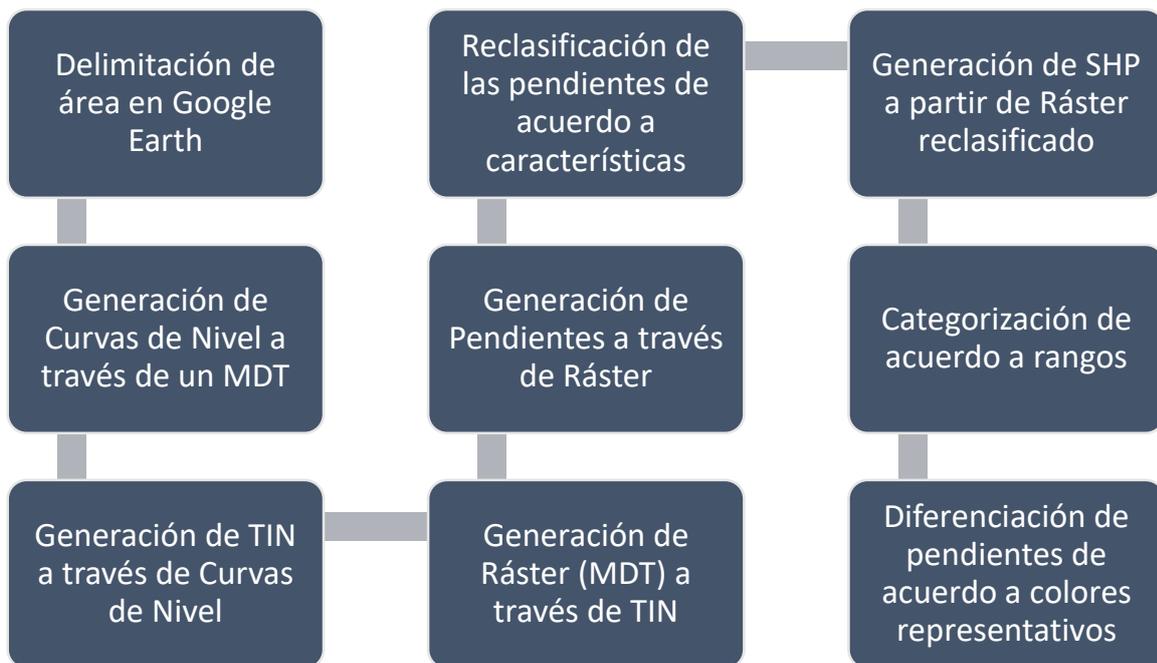
Diferencia de Altura entre dos puntos: $2528 - 2503 = \underline{25 \text{ metros}}$ (Distancia vertical)

Distancia Horizontal: 70 metros

Pendiente: $\frac{\text{Distancia Vertical}}{\text{Distancia Horizontal}} = \frac{25 \text{ metros}}{70 \text{ metros}} = 0.3571$

Valor de pendiente en % = $0.3571 \times 100 \% = 35.71 \%$

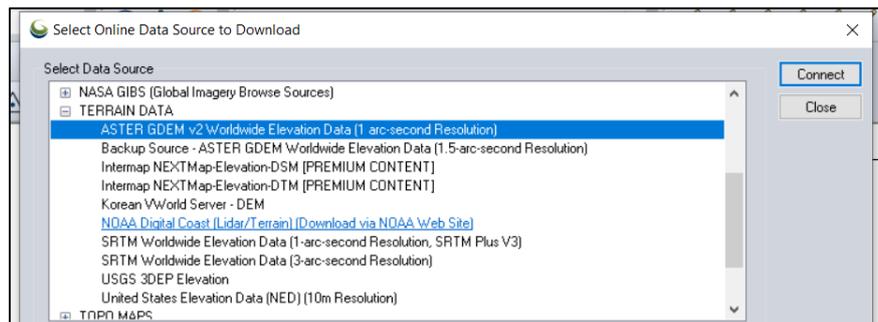
El procedimiento que se llevará al cabo a través de la utilización de softwares SIG, será el siguiente:



Generación de curvas de nivel a través de MDT

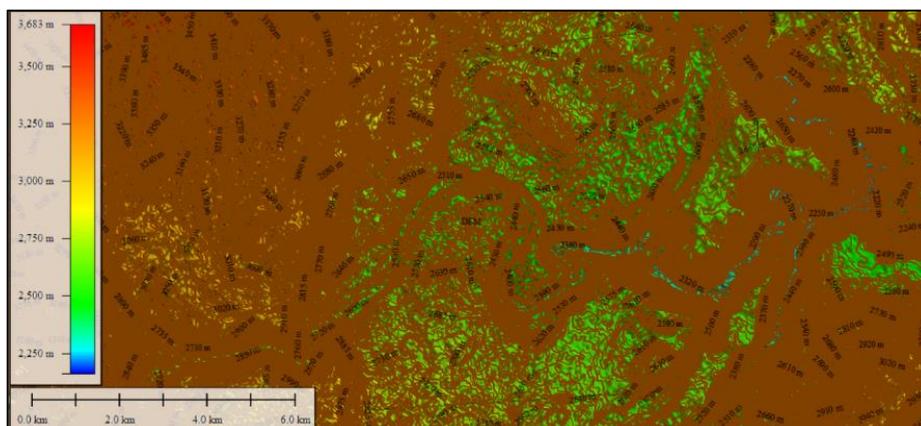
Una vez abierto el archivo de delimitación del área a utilizarse, se realiza una configuración de acuerdo a fuentes de satélites, la que se usó fue la del relieve del terreno proporcionado por “ASTER GDEM”. Se utilizaron las imágenes y datos proporcionados por este satélite, debido a que posee una mayor precisión al momento de generar curvas de nivel.

Imagen 28. Captura de fuente de datos satelitales



Una vez cargado el MDT y los datos de la fuente escogida, se realiza la generación de curvas de nivel, se ha proporcionado un rango de 1 metro para las curvas “menores”, y 2 metros para las curvas “mayores o maestras”; esta precisión con la finalidad de que se puedan diferenciar y determinar con la mayor precisión posible, las variaciones de pendiente.

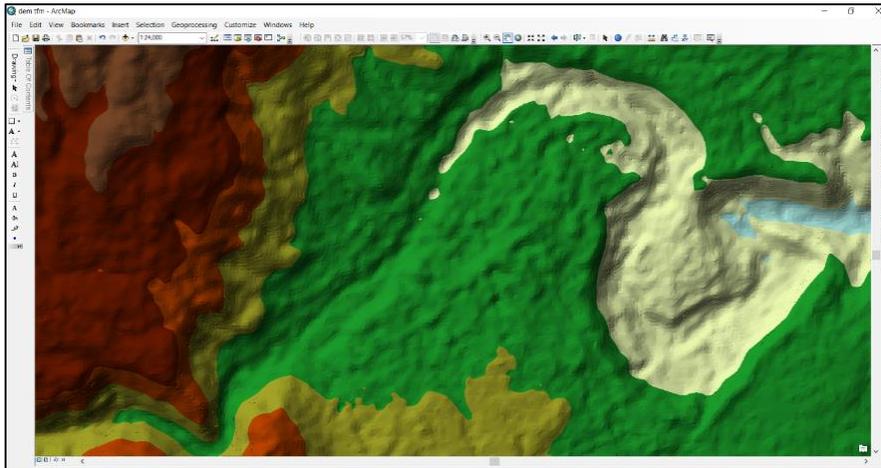
Imagen 29. Generación de curvas de nivel a través de un MDT



Generación de TIN a través de curvas de nivel

Se conoce como un modelo “TIN”, a la forma de representación de ciertos datos geográficos digitales, conjugados en vectores, y construidos mediante la triangulación de vértices; esta superficie se genera, por los archivos de dibujo junto con sus atributos (en este caso la elevación de cada curva de nivel) exportados hacia el software SIG.

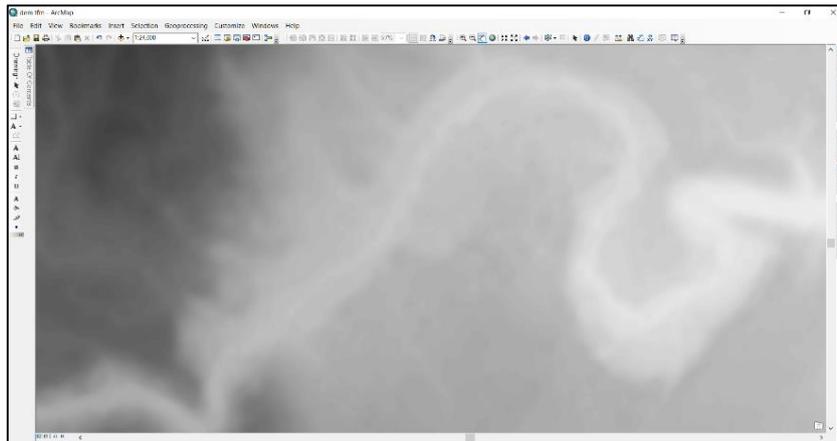
Imagen 30. Generación de un modelo TIN



Generación de Ráster (MDT) a través de TIN

Para un manejo más eficiente de los datos, se genera un modelo Ráster, cuyos componentes (píxeles), poseerán datos específicos en relación a la elevación del terreno.

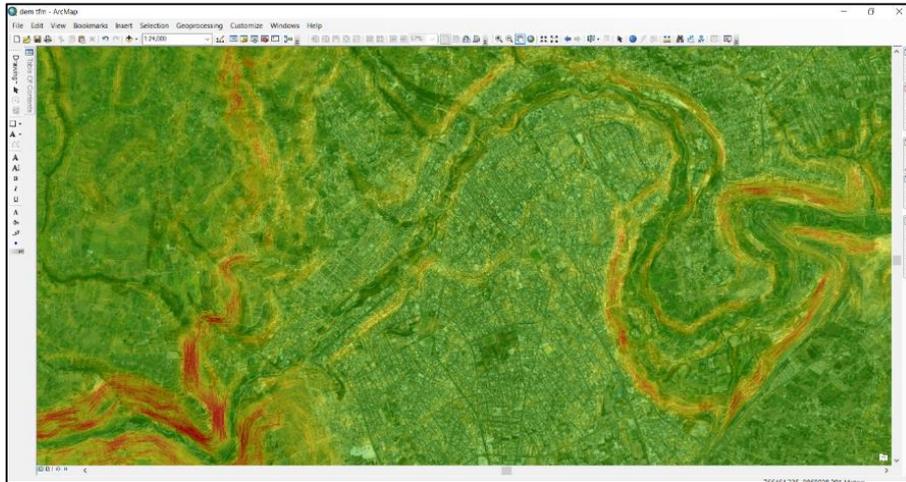
Imagen 31. Generación de un modelo Ráster



Generación de pendientes a través de Ráster

Una vez caracterizada la información, se realiza la clasificación de pendientes, mediante un comando específico determinado para el efecto.

Imagen 32. Generación de pendientes



Reclasificación de las pendientes de acuerdo a características

Las pendientes se pueden reclasificar de acuerdo al objeto de trabajo, o de visualización, para el presente caso las pendientes se clasificarán en base al entorno recomendado por el órgano administrativo competente del Ecuador (Instituto Geográfico Militar, 2019), cuyas recomendaciones se basan en que la clasificación pueda otorgarse dentro de los siguientes rangos:

Imagen 33. Clasificación de pendientes de acuerdo al IGM - Ecuador

| Tipo | Descripción (°) | Descripción (%) |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|
| Planicie | 0-2 | 0-2 |
| Pendiente muy baja | 2-4 | 2-7 |
| Pendiente baja | 4-8 | 7-15 |
| Pendiente moderada | 8-16 | 15-30 |
| Pendiente fuerte | 16-35 | 30-70 |
| Pendiente muy fuerte | 35-55 | 70-140 |
| Pendiente extremadamente fuerte | >55 | >140 |

Sin embargo, la clasificación se realizará en torno al contexto de la ciudad de Ambato, cuya geomorfología se acoplará de mejor manera, a la clasificación realizada por (Gomez, Diaz, & Lopez, 2019).

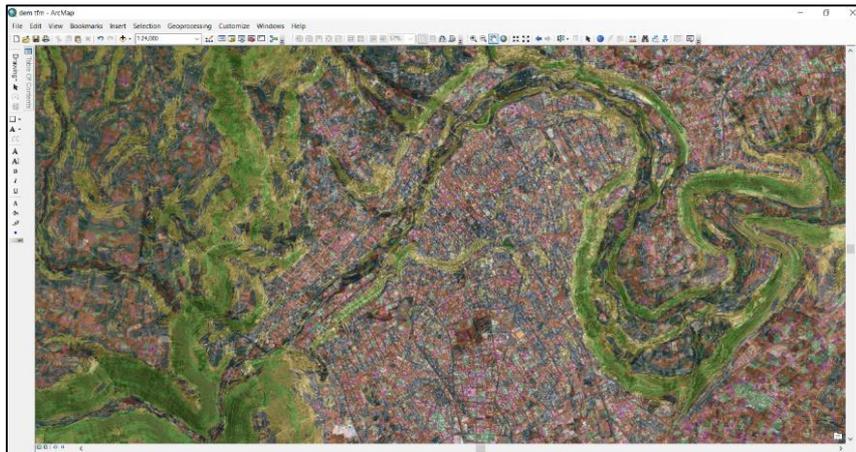
Imagen 34. Clasificación de pendientes a utilizarse

| PENDIENTE | SÍMBOLO | DESCRIPCIÓN | PROCESOS CARACTERÍSTICOS Y CONDICIONES DEL TERRENO |
|-----------|---------|--|--|
| 0-3% | a | A nivel/ casi nivel | Denudación no apreciable; por su condición transitable y laborable, es objeto de uso agrícola, solamente se dificulta su uso bajo condiciones secas. |
| 3-5% | b | Ligeramente inclinada/ ligeramente ondulada | Laderas afectadas especialmente por erosión hídrica en sectores desprovistos |
| 5-12% | c | Moderadamente inclinada/ moderadamente | Laderas que pueden generar movimientos en masa de diferentes clases y baja velocidad, especialmente solifluxión y |
| 12-25% | d | Fuertemente inclinada/ fuertemente ondulada/ moderadamente quebrada | Movimientos en masa de todo tipo, especialmente solifluxión, reptación erosión en surcos, ocasionalmente deslizamientos. |
| 25-50% | e | Fuertemente quebrada/ ligeramente escarpada | Procesos denudacionales intensivos de diferentes clases zonas con reemplazos forestales evidencias claras de erosión del suelo. |
| 50-75% | f | Moderadamente escarpada | Desprendimiento de rocas, coluvación. |
| 75-100% | g | Fuertemente escarpada (incluye escarpe subverticales y bioclastia verticales) | Caida de rocas, por efectos de tectonismo |

Generación de SHP a partir de Ráster reclasificado

Para una clasificación de los datos, se realiza una conversión del mapa generado en Ráster, hacia SHP.

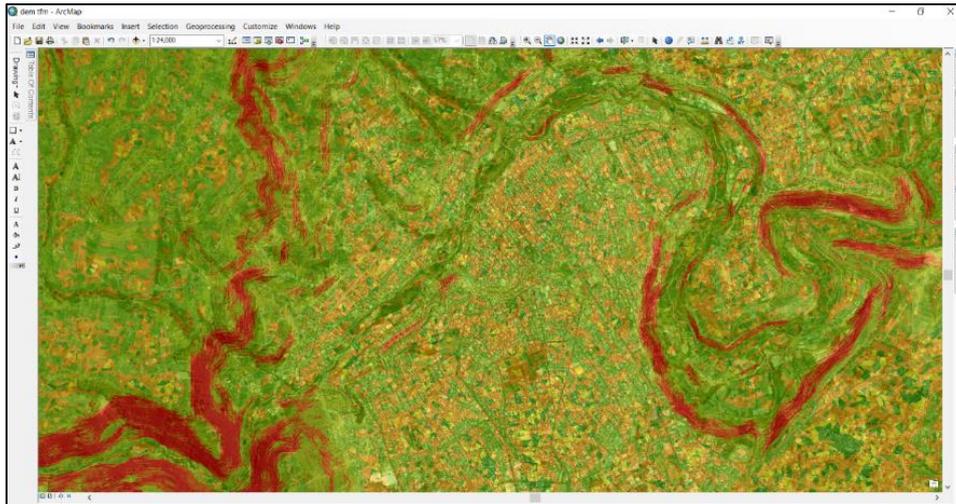
Imagen 35. Pendientes transformadas a formato SHP



Diferenciación de pendientes de acuerdo a colores representativos

Finalmente, se realiza una categorización de las pendientes, en función al rango otorgado para cada valor generado a través del geo procesamiento y representada a través de colores similares al de la imagen de la clasificación de pendientes, y para una mayor ubicación del mapa, se superpone una capa de mapa base de la ciudad de Ambato, con imágenes satelitales.

Imagen 36. Simbolización de pendientes de acuerdo a colores representativos



En el mapa de pendientes generado se observa, que el área urbana de la ciudad de Ambato, se halla delimitada por relieves bastante accidentados, y a la vez gran parte de la urbe se ubica en torno al río Ambato, y los asentamientos antrópicos se desarrollan delimitados bajo este contexto geomorfológico.

De acuerdo a las primeras conjeturas realizadas en la investigación, se observa que en muchas partes en donde se han determinado pendientes caracterizadas como “fuertes” a “escarpadas”, existen emplazamientos residenciales (estructuras); la mayor parte de ellos se ubican a lo largo de la orilla del Río, en donde incluso se demarcan pendientes en color rojo; conjugando esto con las visitas de campo, se confirma que existen viviendas construidas en laderas o quebradas, cuyas pendientes son mayores al 75%.

MAPA DE PENDIENTES

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

- Coordenada de Referencia
- Clasificación de Pendientes (%)**
- 0 - 3
 - 3 - 5
 - 5 - 12
 - 12 - 25
 - 25 - 50
 - 50 - 75
 - >= 75

DESCRIPCIÓN:

En el presente mapa se exhibe una categorización de pendientes generadas en base a curvas de nivel obtenidas mediante un MDT, cuya característica principal es la cota de elevación sobre el nivel del mar, esto con la finalidad de realizar un modelo digital del terreno dentro de la zona de análisis. La clasificación de las pendientes se muestra bajo unidades de porcentaje, sus características intrínsecas facilitaron la determinación de las condiciones del terreno relativas al contexto del entorno en el cual se han formado, y finalmente se muestra dicha clasificación realizada de acuerdo a las jerarquías utilizadas en el Ecuador.

Fuente: ESRI, 2020 - Aster GDEM, 2020 - Google Earth, 2020.



ESCALA: 1:25,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
Proyección: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
Unidad: Metros

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."
Trabajo de Fin de Máster

MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



CENTRO DE ESTUDIOS:
UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA

ELABORADO POR:
Alejandro Acosta Araujo - Alumno

FECHA:
JULIO 2020

TUTOR:
Justino Losada Gómez

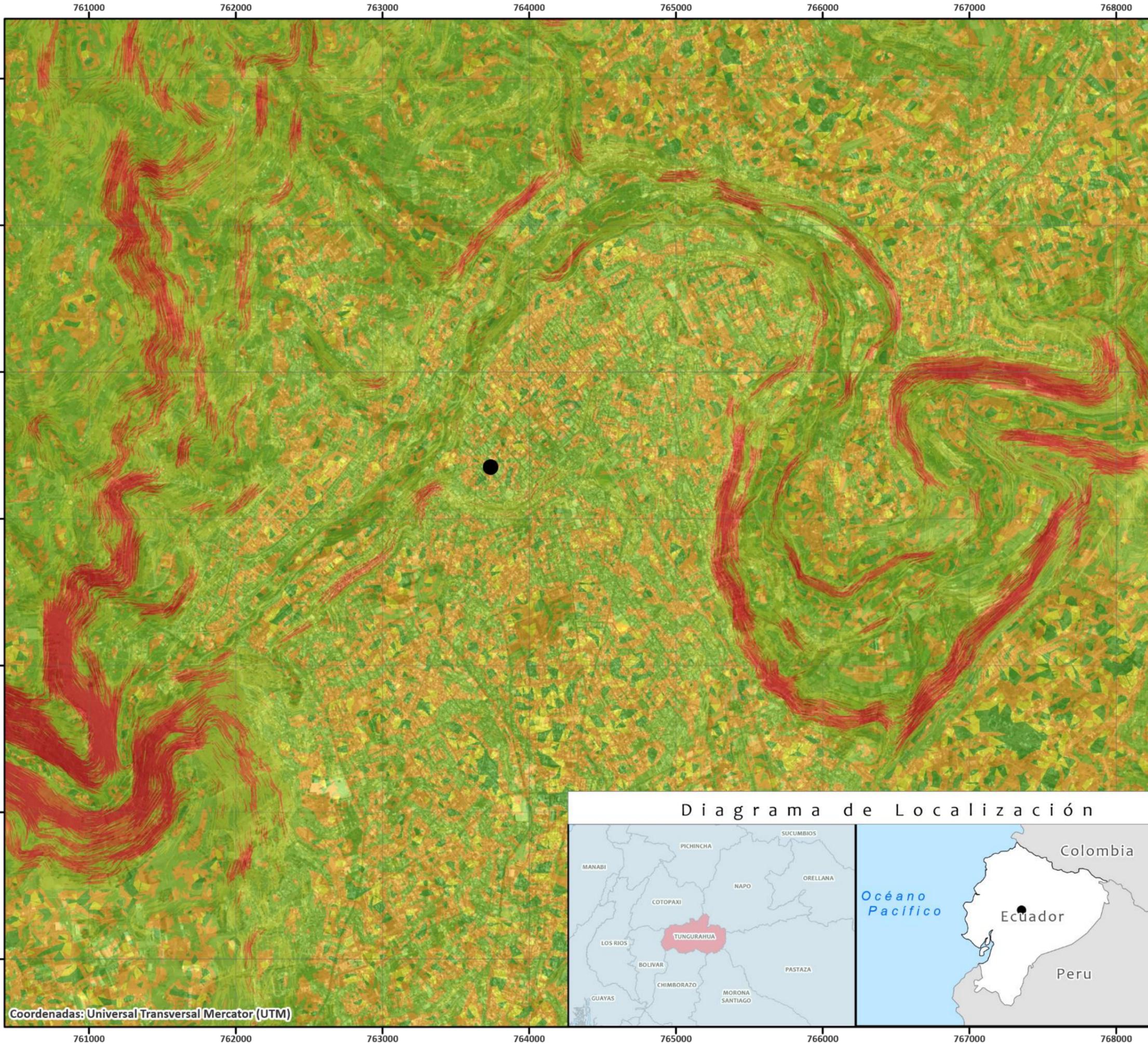


Diagrama de Localización



Coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)

- **Análisis hidrológico y su influencia en la erosividad**

Se precisa la realización de un análisis hidrológico general dentro del área de estudio, debido a la gran incidencia que las precipitaciones tienen como un factor desencadenante dentro de los deslizamientos de tierra, por tal motivo, la aproximación de cálculo que se utilizará será la del método racional, centrada en el área crítica de análisis (zona urbana de la ciudad de Ambato), y demarcada en los puntos de escorrentía, que generalmente son las quebradas formadas de geo-naturalmente. La metodología a aplicarse se basará en un documento denominado como “Actualización del estudio de lluvias intensas” elaborado por (INAMHI, 2019).

El método utiliza una ecuación denominada como “intensidad, duración y frecuencia”, que es determinada para cada zona geográfica del país, mediante algoritmos matemáticos; se aplican las ecuaciones de la estación meteorológica más cercana a la ciudad de Ambato:

Imagen 37. Tabla de ecuaciones hidrometeorológicas de Ambato

| ESTACIÓN | | INTERVALOS DE TIEMPO (minutos) | ECUACIONES | R | R ² |
|----------|-------------------|--------------------------------|---|--------|----------------|
| CÓDIGO | NOMBRE | | | | |
| M0066 | AMBATO AEROPUERTO | 5<30 | $i = 95.7035 * T^{0.2644} * t^{-0.5192}$ | 0.9737 | 0.9480 |
| | | 30<120 | $i = 226.883 * T^{0.2204} * t^{-0.7568}$ | 0.9897 | 0.9794 |
| | | 120<1440 | $i = 438.0411 * T^{0.1712} * t^{-0.8664}$ | 0.9983 | 0.9966 |

Fuente: (INAMHI, 2019)

Dónde:

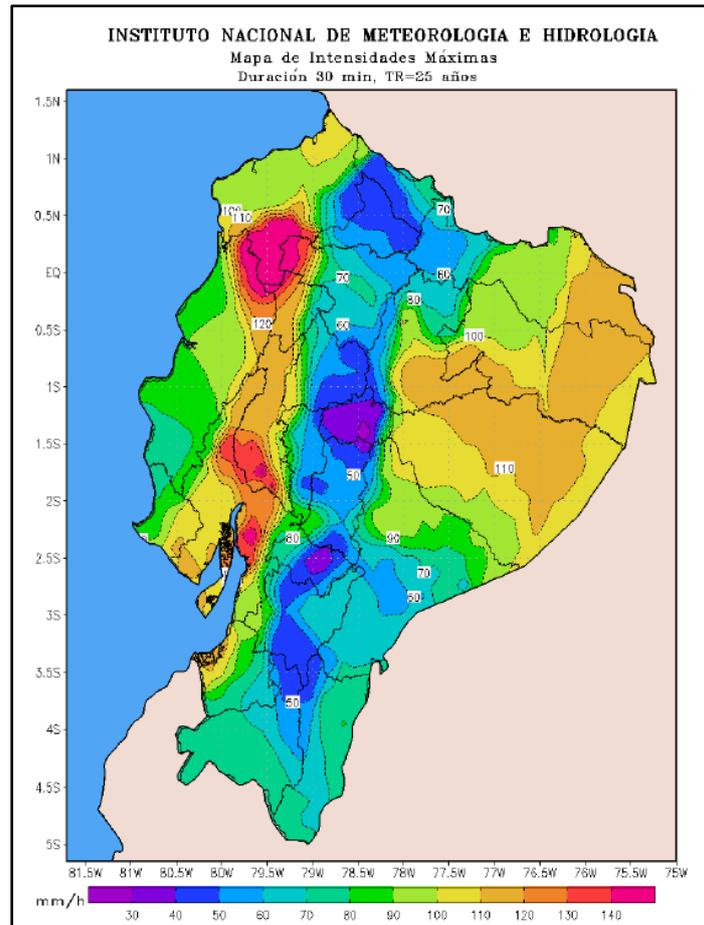
- i = intensidad máxima [mm/h]
- t = intervalo de tiempo [minutos]
- T = periodo de retorno [años]

Para determinar la intensidad, se elige un intervalo de tiempo de 5 a 30 minutos, se elige un periodo de retorno de 25 años, al tratarse de una determinación de un factor desestabilizante para las laderas y quebradas, además tomando en cuenta la duración promedio de las lluvias de la ciudad. Cabe resaltar que se toman estos valores, debido a que posteriormente se realizará el cálculo de la incidencia de la lluvia en la erosionabilidad del suelo en relación a la pendiente del terreno, y el método matemático a aplicarse, deduce que debe proporcionarse la intensidad de lluvia en un lapso de tiempo de 30 minutos, y periodo de retorno de 25 años.

$$i = 95.7035 * (25)^{0.2644} * (30)^{-0.5192}$$

$$i = 38.33 \text{ [mm/h]}$$

Imagen 38. Mapa hidrométrico del Ecuador para tiempos de retorno de 25 años



Fuente: (INAMHI, 2019)

El mapa determinado para los parámetros mencionados, demuestra mediante un esquema gráfico, un rango de intensidad, similar al calculado, por lo tanto, se toma como válido el dato obtenido.

En base a lo expuesto en el marco teórico, la lluvia tiene una gran incidencia en la desestabilización de taludes, en cuanto incide en cierta proporción en el grado de erosión de las superficies, en las cuales inciden múltiples factores. Existen varias metodologías de cálculo y análisis para determinar dicho parámetro, sin embargo, para la presente investigación, se aplicará una técnica de cálculo para obtener el índice de erosionabilidad del suelo, relacionando los parámetros de pendiente y de la intensidad de lluvia.

Según (González Del Tánago, 1991), la ecuación general para determinar el índice de erosionabilidad del suelo, se formuló en el año 1962 por Wischmeier y Smith, y la misma se calcula bajo la siguiente expresión:

$$A = R * K * LS * C * P$$

Dónde:

- A = Valor Promedio de las Pérdidas del Suelo [Tm/ha]
- R = Índice de la erosividad de la lluvia
- K = Factor de erosividad del suelo
- LS = Factor del relieve, en función a la pendiente
- C = Factor de cubierta vegetal
- P = Factor de conservación del suelo

Para el caso de estudio, únicamente se aplicará la ecuación bajo los parámetros de intensidad de lluvia, y de factor del relieve en función a la pendiente, esto se lo hará mediante la interoperabilidad de “Rasters” en un Sistema de Información Geográfica.

La obtención del factor de erosividad de la lluvia se obtuvo de la siguiente forma:

$$R = \sum_{i=1}^n EI_{30}$$

Dónde:

- I_{30} = Intensidad de Lluvia en un tiempo de duración de 30 minutos [mm/h]
- R = Índice de la erosividad de la lluvia
- E = Energía cinética de la precipitación

La energía cinética se determinó bajo las siguientes condiciones dadas por Wischmeier y Smith:

- Si $I \leq 76$ mm/h $\rightarrow E = 0.119 + 0.0873 \log(I)$
- Si $I > 76$ mm/h $\rightarrow E = 0.283$

Por lo tanto, la Energía cinética se calculará mediante:

$$E = 0.119 + 0.0873 * \log(38.33)$$

$$E = 0.2572$$

Finalmente, el factor R será:

$$R = 0.2572 * 38.33$$

$$R = 9.86$$

Esta variable se ingresará bajo la misma metodología de cálculo, en el SIG, adicionando un análisis que utiliza el geo-procesamiento como medio para la obtención del Índice de Erosividad. El esquema lógico a seguir es el siguiente:

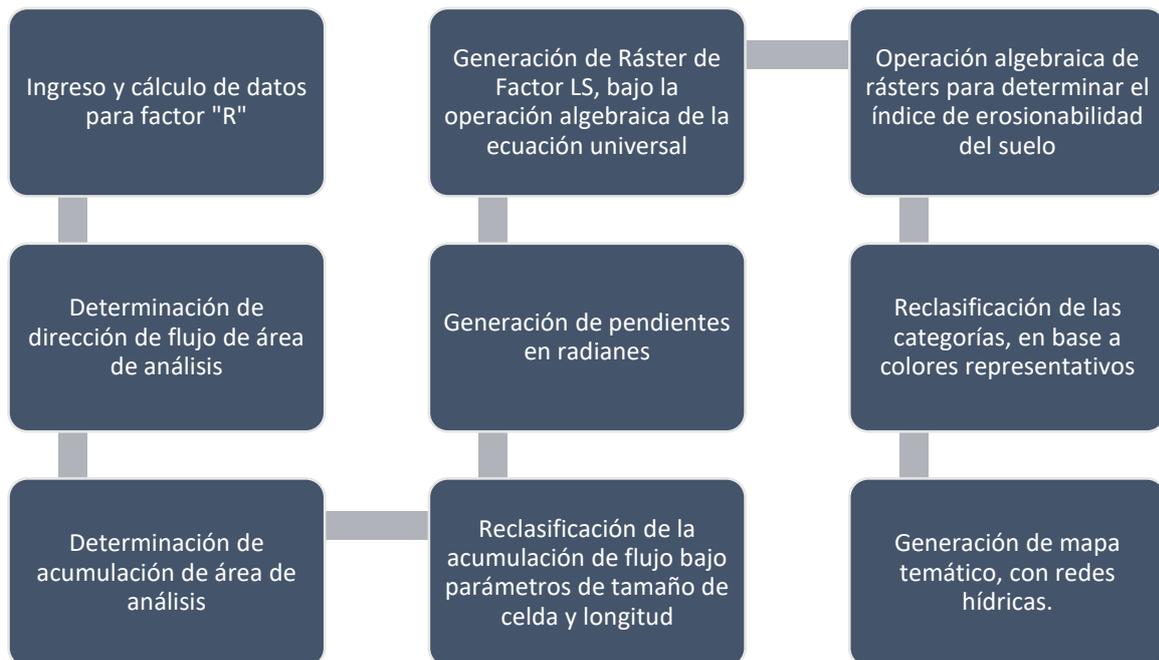


Imagen 39. Determinación de la dirección del flujo en área de análisis

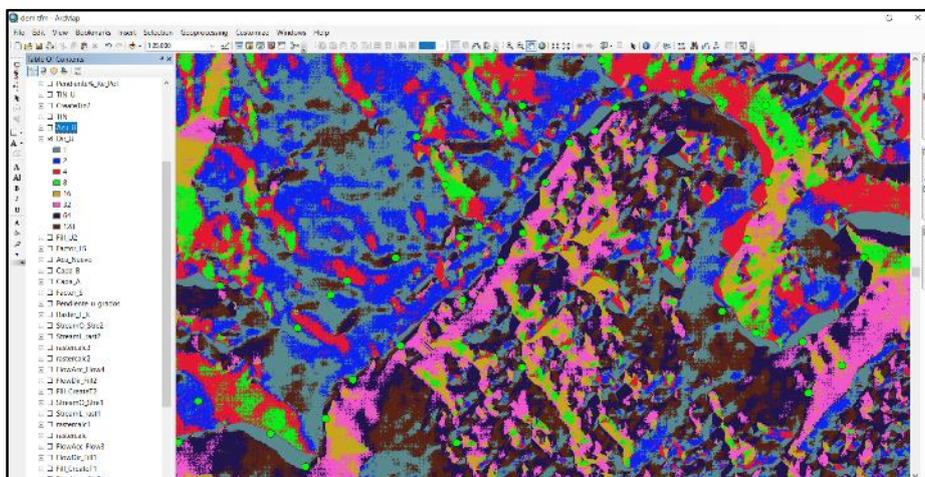


Imagen 40. Determinación de acumulación del flujo en área de análisis

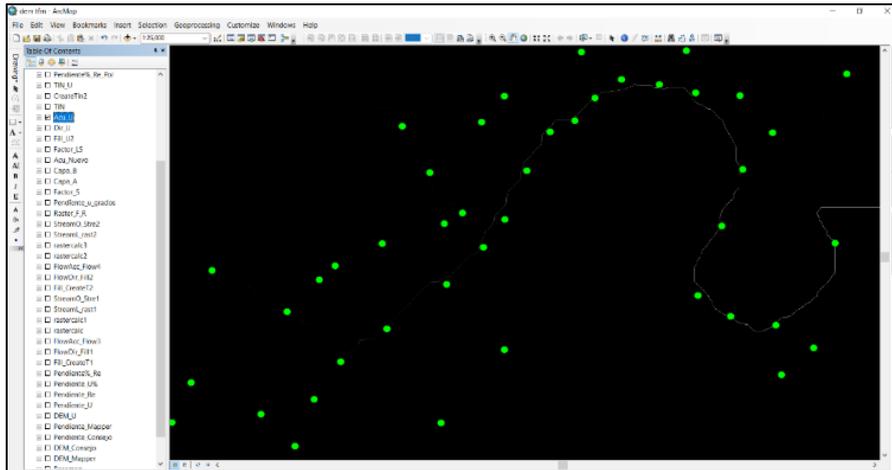


Imagen 41. Reclasificación de la acumulación del flujo

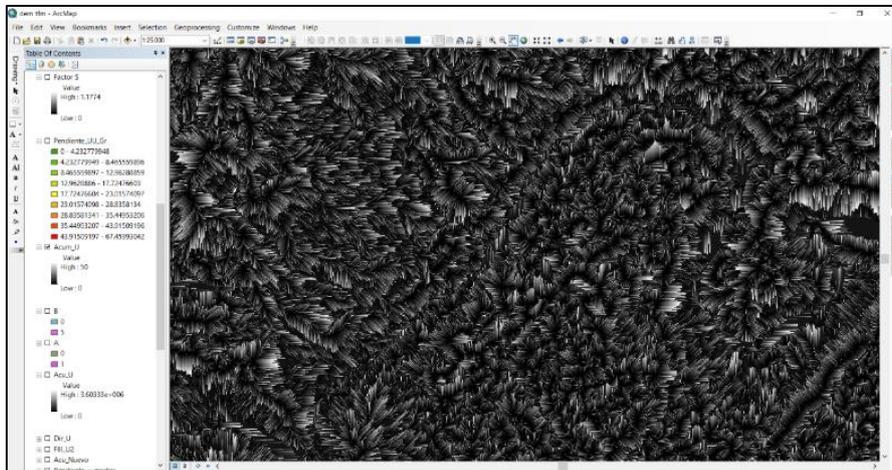
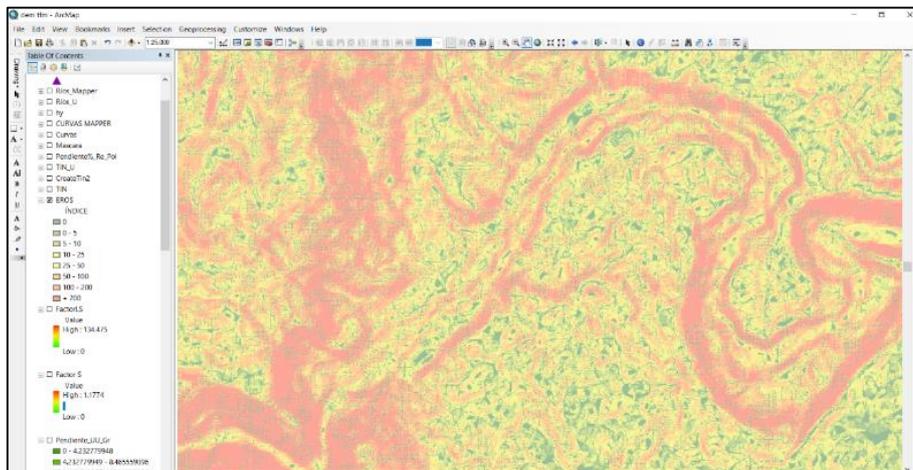


Imagen 42. Ráster de Índice de Erosividad y reclasificación



MAPA DE ÍNDICE DE EROSIVIDAD DEL SUELO Y REDES HÍDRICAS

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

● Coordenada de Referencia

Redes Hídricas



DESCRIPCIÓN:
 En el presente mapa se presenta un análisis bajo la metodología de superposición de capas, en donde se exhibe el mapa base del área urbana de la ciudad de Ambato, junto con una capa ráster que muestra mediante una graduación de colores, el índice de erosividad (cuantificado en toneladas por hectárea por año) en las diferentes zonas de la ciudad, en función directa de la intensidad de lluvia y el relieve; finalmente se muestra la red hídrica de drenajes intermitentes y permanentes de los diferentes cursos hídricos superficiales menores y mayores, influyentes en la erosión, y en la determinación de las zonas habitadas más críticas. Las redes hídricas y drenajes se muestran en base a una graduación de colores que representan el orden de la cuenca y su acumulación de flujo

Fuente: ESRI, 2020 - Aster GDEM, 2020.



ESCALA: 1:25,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."
 Trabajo de Fin de Máster
MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



CENTRO DE ESTUDIOS:
 UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA

ELABORADO POR:
 Alejandro Acosta Araujo - Alumno

FECHA:
 JULIO 2020

TUTOR:
 Justino Losada Gómez

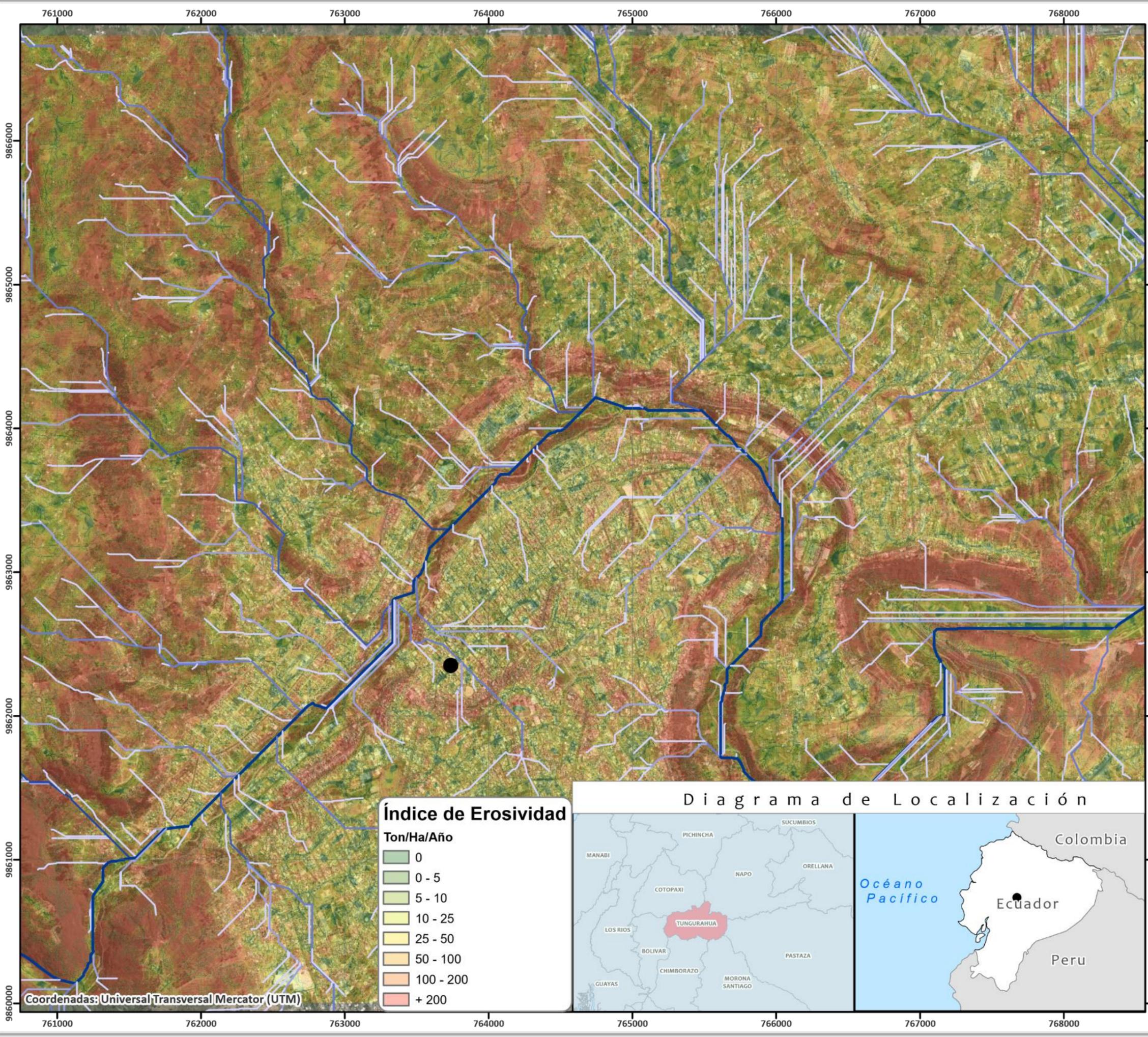
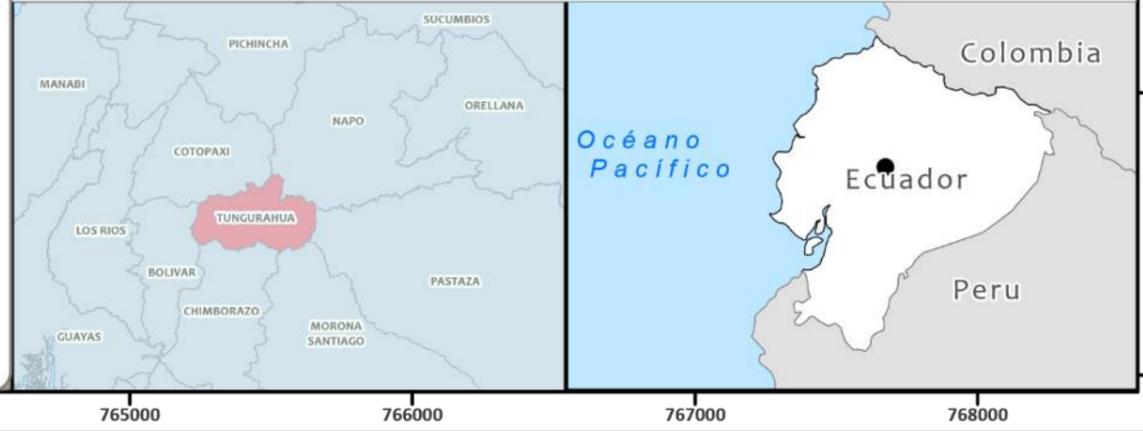


Diagrama de Localización



Coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)

Se aprecia lógicamente que, las zonas con un mayor índice de erosionabilidad, se encuentran en los sitios cuyo relieve se presenta de forma más accidentada, y generalmente en aquellos espacios naturales de los sectores hidrológicos de la microcuenca en dónde fluye la escorrentía del agua de lluvia, ya sean cursos hídricos superficiales intermitentes o permanentes. Es imperante recalcar aquellas zonas de la urbe en dónde se hallan implantadas residencias o actividades antrópicas, cuyo índice de erosividad del suelo abarca un rango de 100 – 200 ton/Ha/Año; y precisamente en las zonas mencionadas en los mapas anteriores, se presenta esta problemática de una forma más avanzada (orillas del río Ambato, laderas y quebradas).

La referencia del índice es la siguiente:

Imagen 43. Clasificación del índice de erosividad del suelo

| Pérdidas de suelo (t/ha.año) | Interpretación |
|------------------------------|--|
| 0 | Zonas no susceptibles al proceso erosivo, como pueden ser espacios urbanos, carreteras, embalses, etc. |
| 0 - 5 | Zonas con niveles de erosión muy bajos y pérdidas de suelo tolerables. No hay erosión neta. |
| 5 - 10 | Zonas con niveles de erosión bajos y pérdidas de suelo que pueden ser tolerables. Probablemente no hay erosión neta. |
| 10 - 25 | Zonas con procesos erosivos leves. Existe erosión, aunque no es apreciable a simple vista. |
| 25 - 50 | Zonas con procesos erosivos moderados. Existe erosión aunque puede no ser apreciable a simple vista. |
| 50 -100 | Zonas con procesos erosivos graves. Existe erosión y es apreciable a simple vista. |
| 100 - 200 | Zonas con procesos erosivos muy graves. Existe erosión y es manifiesta a simple vista. |
| > 200 | Zonas con procesos erosivos extremos. Existe erosión y es evidente a simple vista. |

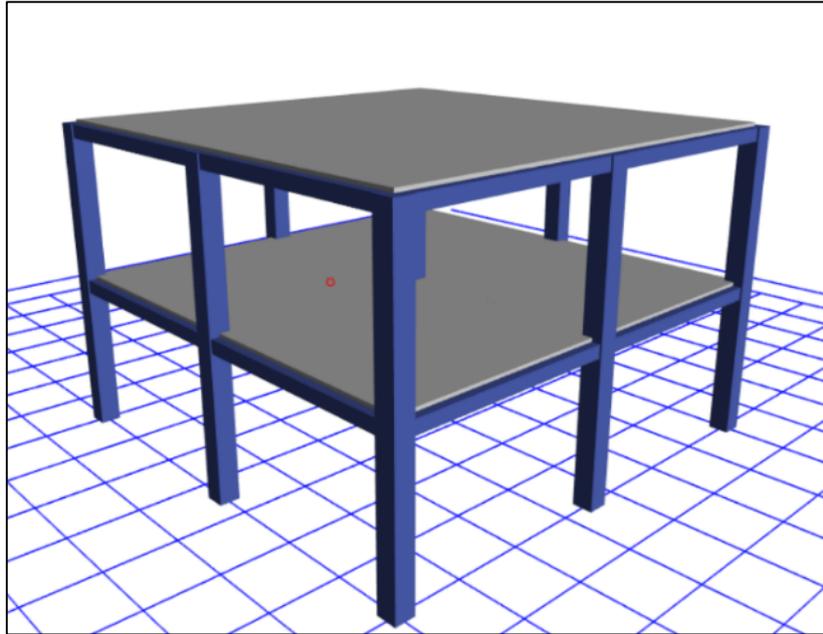
Fuente: Gobierno Vasco, 2005

- **Determinación de cargas sobre el terreno**

En el marco teórico se describe que un factor incidente en los deslizamientos de tierra es la carga de una edificación; sin embargo, también existen construcciones implantadas en laderas o quebradas que se han realizado bajo las debidas directrices y parámetros técnicos de un profesional afín al tema; por lo tanto, este apartado tiene la finalidad de realizar un cálculo general de las cargas transmitidas al suelo por una residencia tipo construida en el Ecuador, esto mediante un modelado de la estructura en un software de elementos finitos, cuyo resultado será posteriormente aplicado en el cálculo de la estabilidad de taludes; y todo ello tendrá como objeto el determinar aquellas zonas de las ciudad que poseen una mayor concentración de cargas en el suelo, ocasionadas por las residencias; esto determinará zonas mayor o menormente vulnerables.

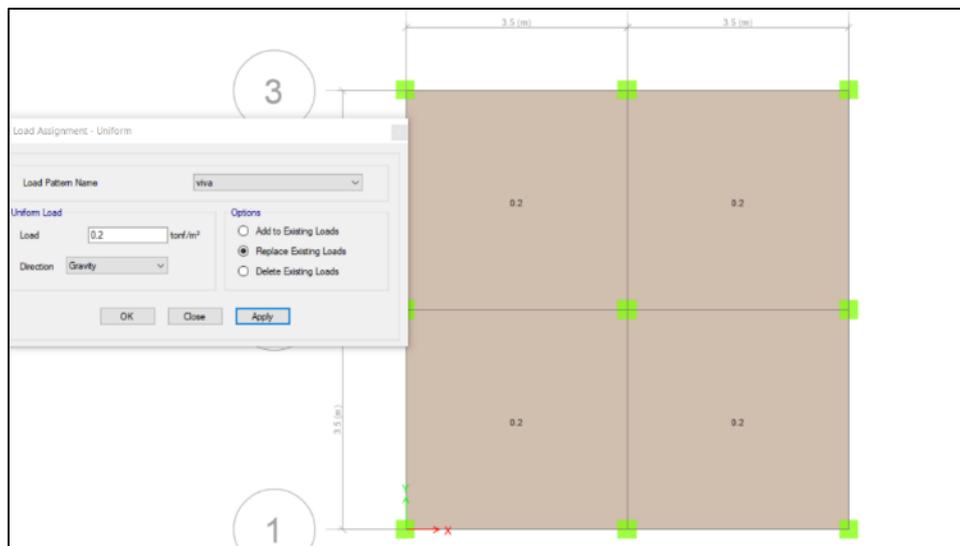
La vivienda que se modela es de hormigón armado, bajo un sistema aporricado (vigas y columnas), este es el modelo constructivo tradicional en el Ecuador debido a su alta sismicidad, este modelo ha resultado efectivo (siempre y cuando se lo realice bajo cálculos y criterios técnicos) frente a estados de carga laterales.

Imagen 44. Modelado tridimensional de vivienda tipo de Ecuador



Elaborado Por: El Autor.

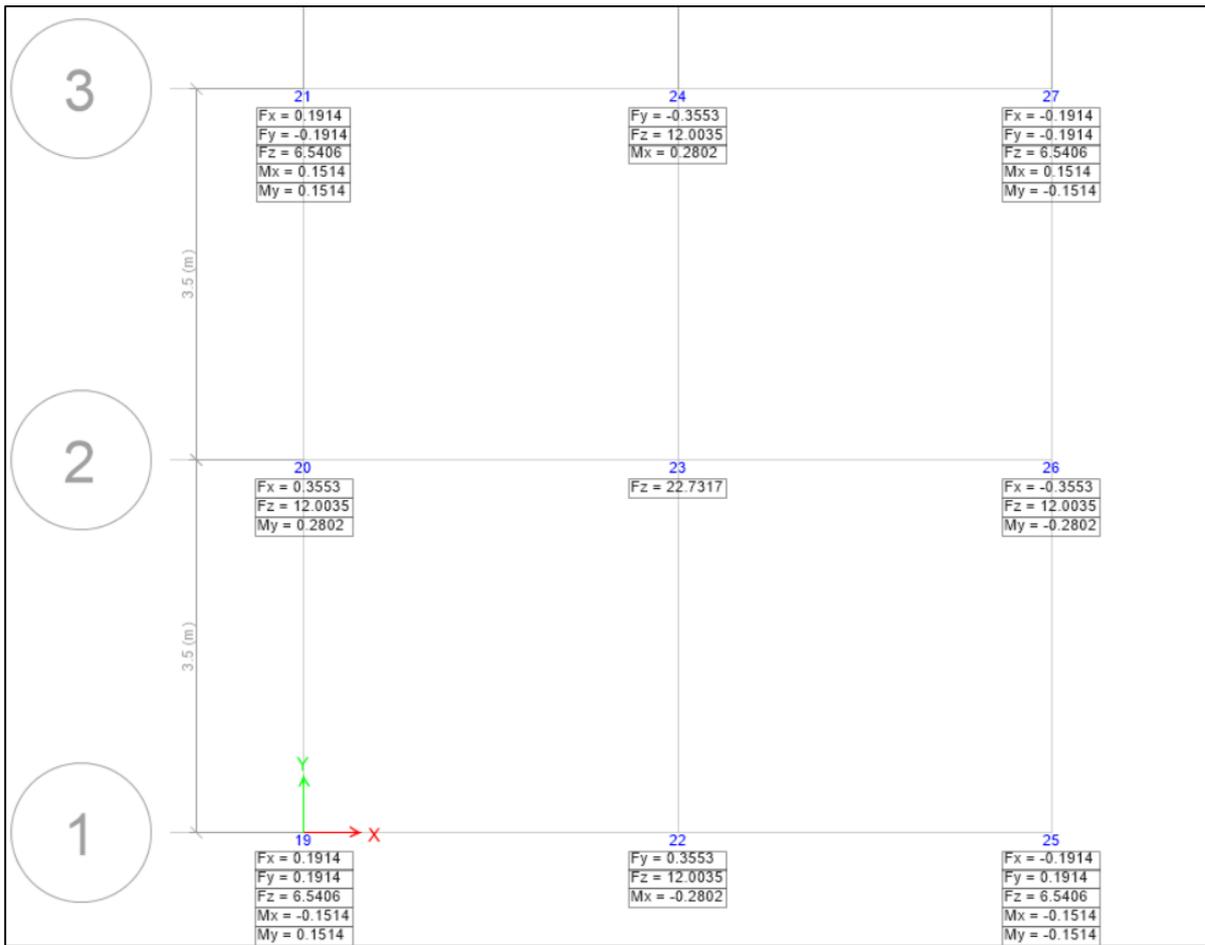
Imagen 45. Aplicación de cargas a vivienda



Elaborado Por: El Autor.

La aplicación de cargas a la vivienda tipo, se la realiza de acuerdo a lo estipulado en la NEC, dónde se estipula que la carga “viva” para viviendas unifamiliares debe ser de 200 kilogramos por metro cuadrado (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015).

Imagen 46. Cargas aplicadas sobre el suelo por la vivienda tipo



Elaborado Por: El Autor.

Para la modelización de los taludes, se debe realizar un promedio de las cargas de servicio generadas por la vivienda tipo, posteriormente, la capacidad portante del suelo se toma en relación a la aplicación de solicitaciones de carga superficial sobre metro cuadrado, por lo tanto, se dividirá la carga para una cimentación superficial tipo “aislada”, de medidas 1.50 x 1.50 metros, que son las medidas que generalmente se construyen en este tipo de viviendas.

Tabla 6. Promedio de Cargas

| PUNTO | CARGA | UNIDAD |
|--------------|--------------|--------|
| 1-A | 6.54 | Ton. |
| 2-A | 12.00 | |
| 3-A | 6.54 | |
| 1-B | 12.00 | |
| 2-B | 22.73 | |
| 3-B | 12.00 | |
| 1-C | 6.54 | |
| 2-C | 12.00 | |
| 3-C | 6.54 | |
| TOTAL | 10.76 | |

Elaborado Por: El Autor.

La carga total se divide para el área que ocupan las cimentaciones de los ejes en el suelo (9 zapatas aisladas), teniendo como resultado una superficie de transmisión de 13.5 metros cuadrados, valor que finalmente, sirve para calcular la carga sobre la superficie, con un valor de 10.76 toneladas/metro cuadrado.

Para el análisis de estabilidad de taludes, se utilizará el programa “GEO 5”, en su versión gratuita, el cálculo de estabilidad de lo realizará con taludes con 3 diferentes grados de pendientes: 50% - 75% y 95 %; esto debido a que corresponden a los rangos de alcance distribuidos en la zona de análisis, de acuerdo al mapa de pendientes generado.

El análisis se realizará aplicando la carga distribuida obtenida (10.76 ton/m²) aplicada a una distancia de la corona del talud de 2 metros de distancia, ya que es el rango mínimo que se pudo observar en la mayoría de viviendas del área de investigación; sin embargo, cabe mencionar que también se encontraron viviendas cuyas construcciones (aparentemente realizadas de forma ilícita) se hallaban implantadas en la corona de la ladera o quebrada; en cualquier caso, es pertinente efectuar la modelación en base a los valores estándar hallados a través del análisis SIG, y de las observaciones de campo realizadas.

En lo que respecta al suelo que se utilizará en el cálculo, se aplicará el tipo de suelo obtenido en un mapa donde se denote esta característica dentro del área crítica de la urbe, y a la par se compararán valores de capacidad portante del suelo.

MAPA DE TIPO DE SUELO

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

- Coordenada de Referencia
- Río Ambato

DESCRIPCIÓN:

En el presente mapa se presenta una clasificación mediante una simbología graduada en colores, la cual representa el tipo de suelo existente de acuerdo a las formaciones geológicas de la zona de estudio. Es importante recalcar que este mapa es importante para tener una referencia general del tipo del suelo que se está utilizando para actividades antrópicas, así como para las construcciones que se realizan en las diferentes zonas de la urbe; cabe destacar que este mapa no sustituye un estudio específico de suelos, a realizarse previo a una edificación; pero resulta muy útil para conocer la generalidad del estrato de suelo que se ubica en una zona específica.

Fuente: IGM, 2020.



ESCALA: 1:25,000



Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."
 Trabajo de Fin de Máster
MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



| | |
|--|-----------------------------|
| CENTRO DE ESTUDIOS: UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA | |
| ELABORADO POR: Alejandro Acosta Araujo - Alumno | FECHA: 105 JULIO 2020 |
| TUTOR: Justino Losada Gómez | |

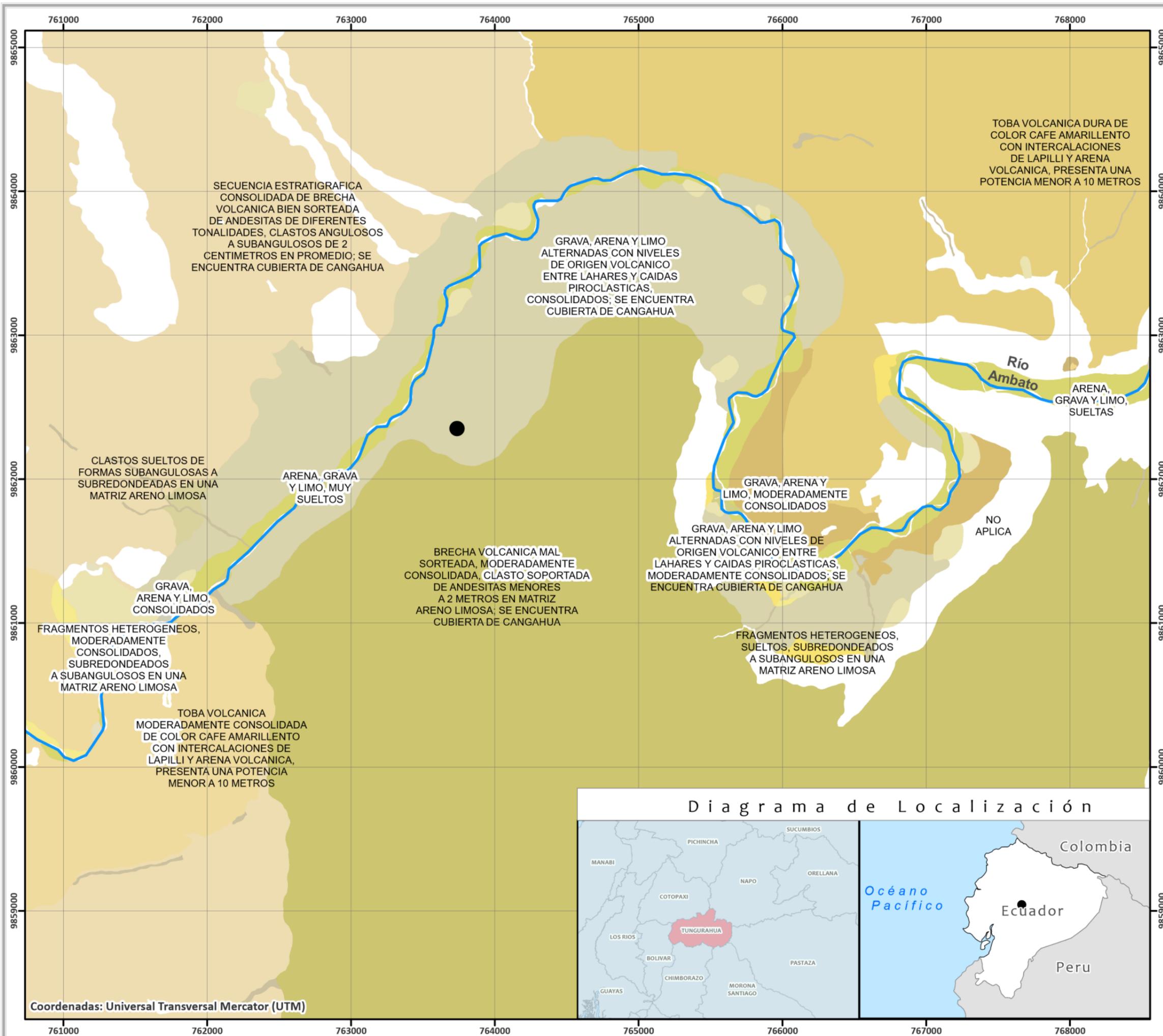


Diagrama de Localización



Coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)

De acuerdo al mapa de suelos, se observa que, en las cercanías al Río Ambato, el estrato de suelo se considera en su mayoría como una superficie que posee suelos areno-limosos, y en ciertos sitios se inserta una capa de gravas bien gradadas; a este conjunto de estratos se los conoce como “cangagua”. Este tipo de suelo generalmente posee una capacidad de carga entre 15 a 25 ton/m²; esto se observa en la mayoría de estudios de suelos realizados en la ciudad de Ambato, y entregados a la Municipalidad; sin embargo, este dato se puede corroborar mediante una tabla proporcionada por (Viera, 2017):

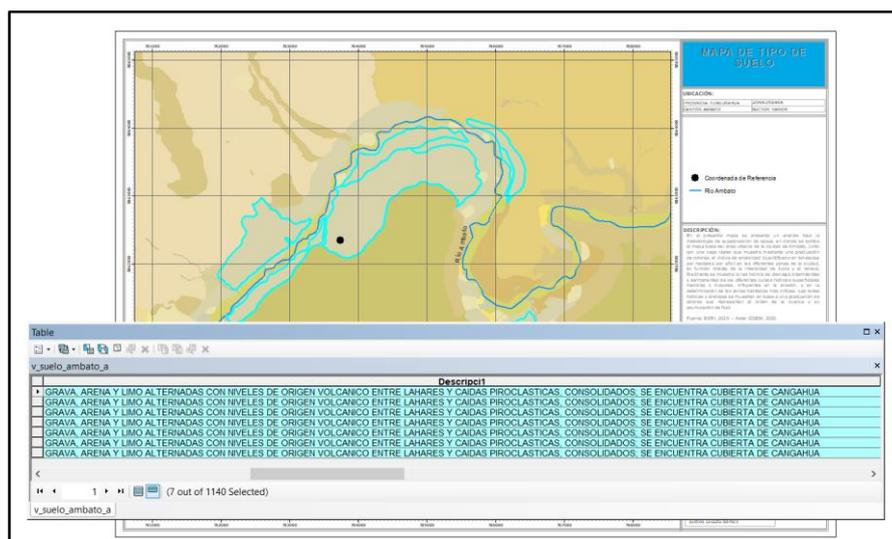
Imagen 47. Referencia de capacidad del Suelo

| Cuadro de resistencia por tipo de suelo | | |
|---|---|----------------------|
| Item | Tipo de Suelo | kg/cm ² . |
| 01 | Roca, dura y sana (granito, basalto) | 40 |
| 02 | Roca, medio dura y sana (pizarras esquistos) | 20 |
| 03 | Roca, blanda con fisura | 7 |
| 04 | Conglomerado compacto bien graduado | 4 |
| 05 | Gravas. Mezcla de arena y grava | 2* |
| 06 | Arena gruesa. Mezcla de grava y arena | 2* |
| 07 | Arena fina a media. Arena media a gruesa, mezclada con limo o arcilla | 1.5* |
| 08 | Arena fina. Arena media a fina mezclada con limo o arcilla | 1.0* |
| 09 | Arcilla inorgánica, firme | 1.5 |
| 10 | Arcilla inorgánica, blanda | 0.5 |
| 11 | Limo orgánico con o sin arena. | 0.25 |

* Reducir en 50% en el caso de estar bajo el nivel freático (nivel de agua)

Se utilizará una capacidad portante promedio de 18 ton/m², que se ha identificado mediante una selección en el software SIG.

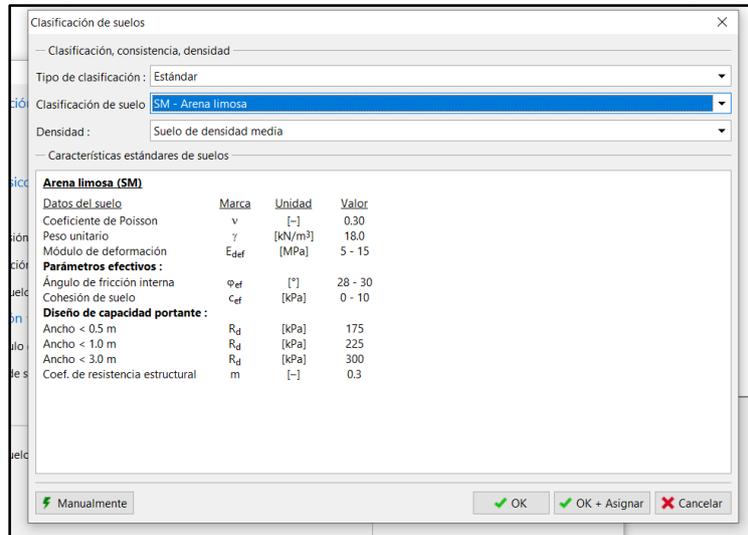
Imagen 48. Selección del tipo de suelo



Se procede a realizar la modelización de los taludes de 50, 75 y 95 %; asignando para cada uno, las características del suelo, en donde intervienen variables mencionadas en el marco

teórico como, la cohesión, el peso específico, el porcentaje de saturación, coeficiente de Poisson y ángulo de fricción interno.

Imagen 49. Asignación de características del suelo

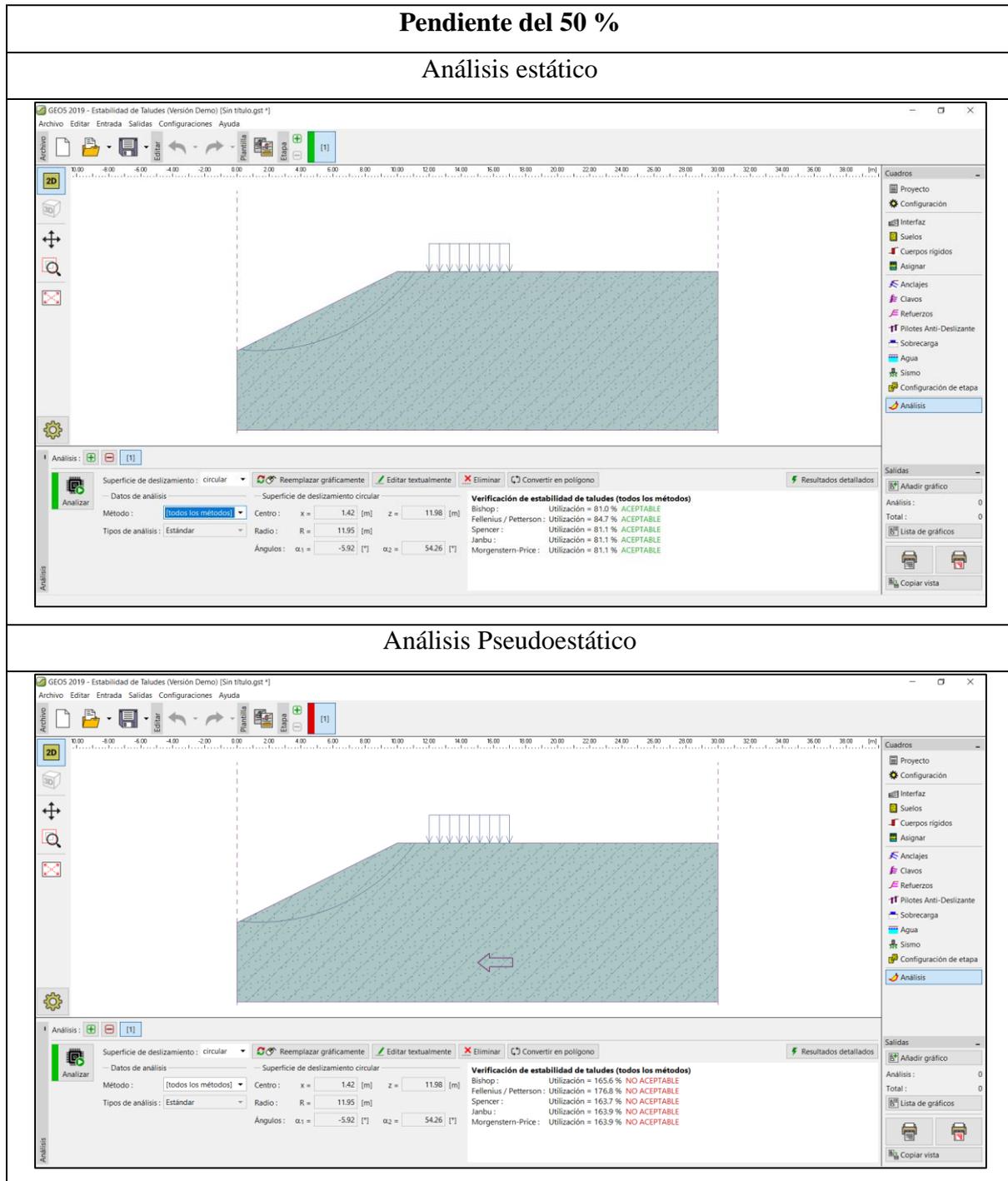


Adicionalmente se realiza la comparativa para cada pendiente, bajo un análisis estático y pseudoestático, en el cual se utiliza un coeficiente sísmico horizontal y vertical. Estos valores se encuentran en función de PGA (Peak Ground Acceleration); en la NEC (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015) en la pág. 106, se indica que para la ciudad de Ambato, se debe aplicar un coeficiente cuyo valor es 0.4 gal., valor que también se corrobora con la tabla dispuesta por (Suárez, 2009):

Imagen 50. Tabla de coeficiente sísmico horizontal

| Coeficiente Sísmico k | Observaciones |
|--|--|
| 0.10 | Sismo importante, FS > 1.0. |
| 0.15 | Sismo de gran magnitud, FS > 1.0. |
| 0.15 a 0.25 | Japón FS > 1.0 |
| 0.05 a 0.15 | Estado de California |
| 0.10 para $\mu = 6.5$ 0.15 para $\mu = 8.5$ | (Seed, 1979) con FS > 1.15 |
| 1/3 a 1/2 de la aceleración pico superficial | (Marcuson y Franklin, 1983) FS > 1.0 |
| 1/2 de la aceleración pico superficial | (Hynes, Griffin y Franklin, 1984) FS > 1.0 y un 20% de reducción de resistencia. |

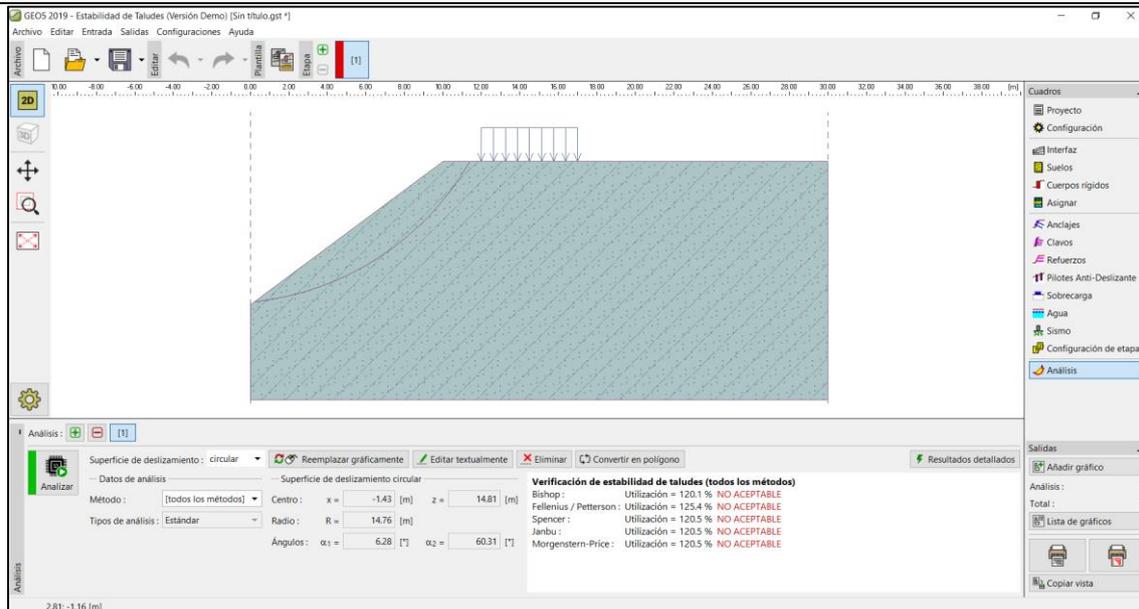
Los resultados del análisis fueron:



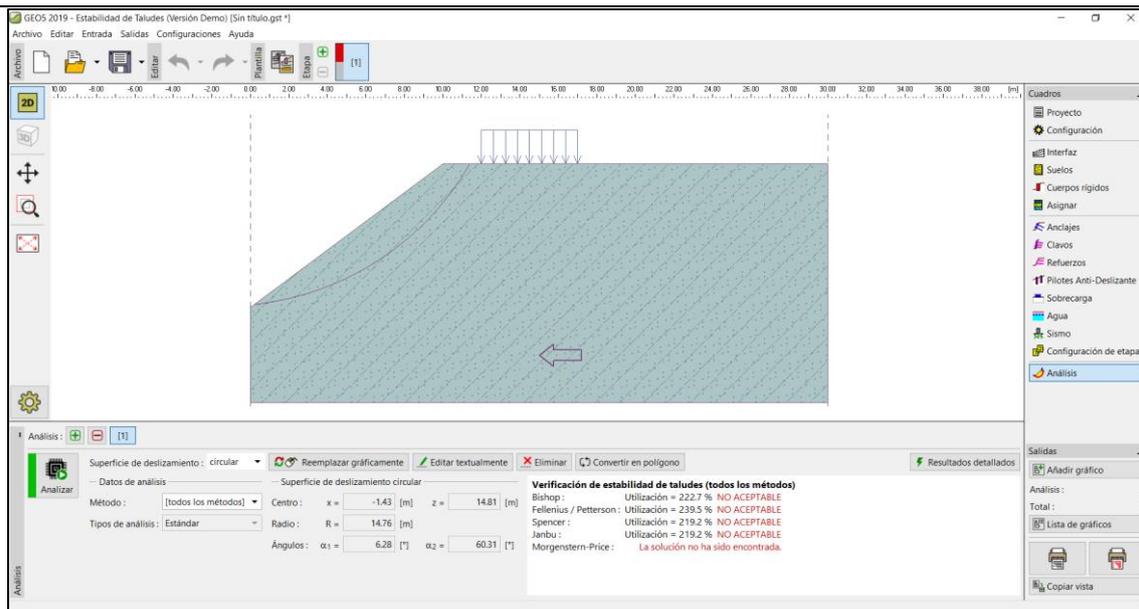
Se observa que los taludes con una pendiente del 50% mantienen estabilidad bajo condiciones estáticas, sin embargo, en el momento de la aplicación de fuerzas sísmicas, éste pierde su estabilidad.

Pendiente del 75%

Análisis estático



Análisis Pseudoestático

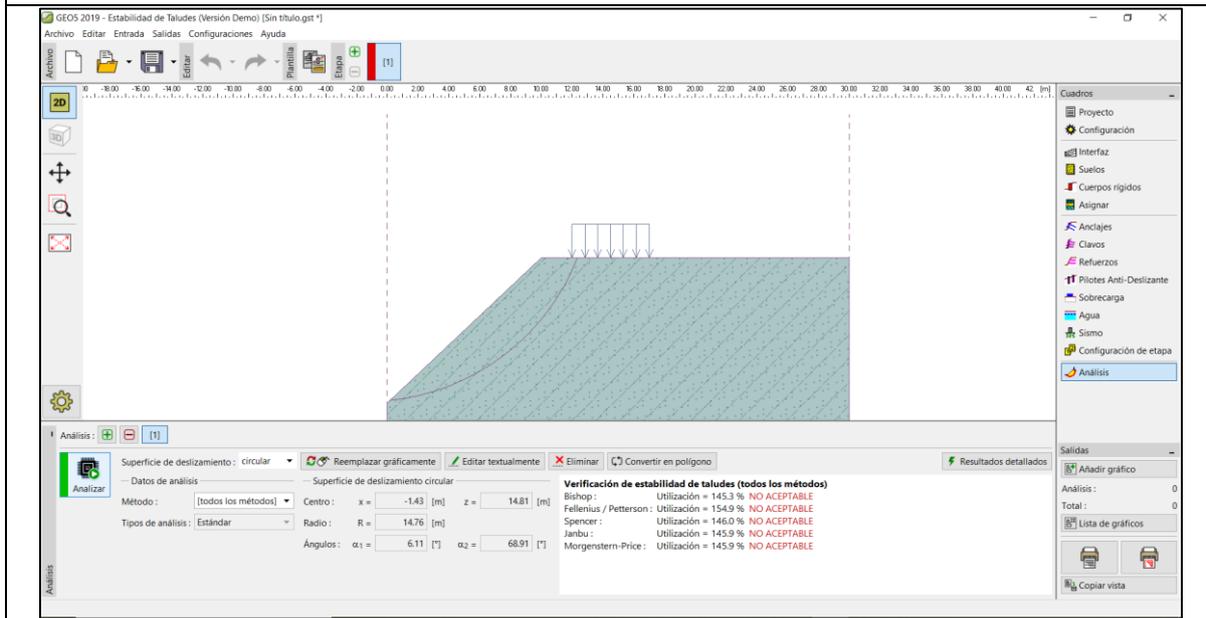


Se observa que en este tipo de pendientes el análisis de acuerdo a los métodos aplicados, no es aceptable, y por consiguiente esto se agrava al aplicar un análisis bajo fuerzas sísmicas.

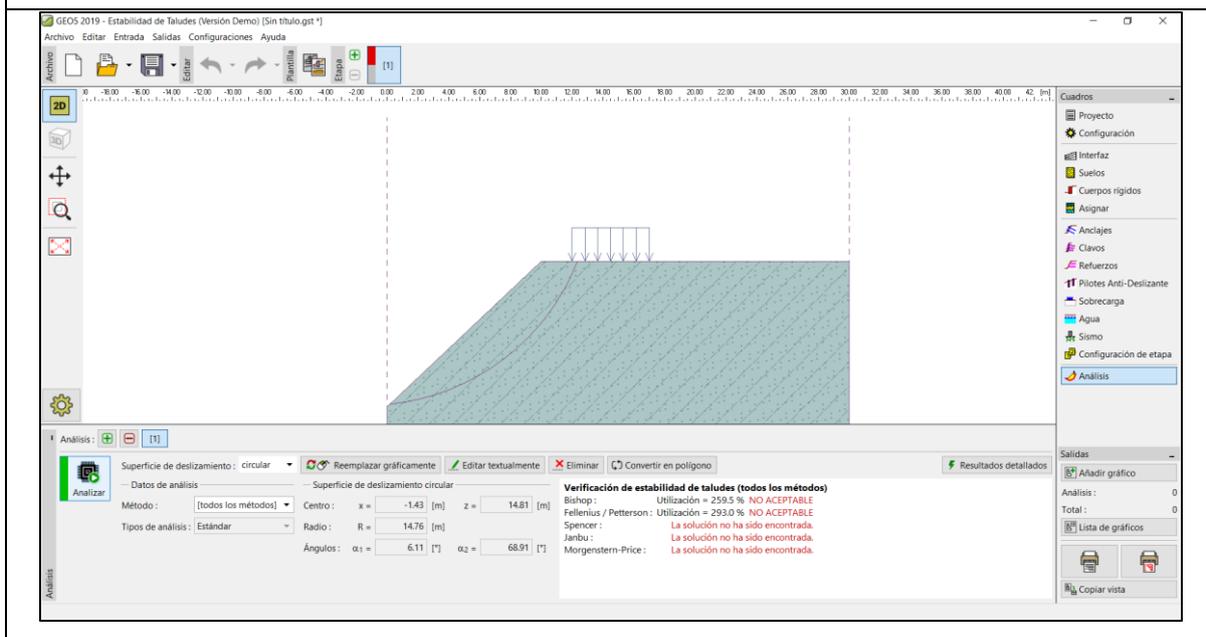
En lo que respecta a este parámetro, se deduce que aquellas zonas que se encuentran más densamente habitadas o utilizadas para la construcción de viviendas o edificaciones relacionadas a actividades antrópicas, aplican mayores cargas al suelo; y los sitios de laderas o quebradas con diferentes tipos de emplazamientos, presentan una menor estabilidad.

Pendiente del 95%

Análisis estático



Análisis Pseudoestático



Bajo este porcentaje de pendientes, se observa que tanto el análisis estático como pseudoestático, no son aceptables bajo la aplicación de estabilidad.

Parámetros de calificación, ponderación y peso

De acuerdo a la metodología de trabajo y análisis utilizada en la investigación, la cartografía, los cálculos tipo y la superposición de capas; se procede a realizar la calificación de cada uno de los parámetros y sus rangos respectivos (cualitativos y cuantitativos) a través de 3 etapas que contemplan lo siguiente:

- **Calificación del grado de influencia de los parámetros:** Consiste en la aplicación de un factor que representa un porcentaje relacionado al grado de influencia/amenaza que representa dicho parámetro, dentro de las variables socioeconómicas y físicas – técnicas respectivamente. Esto realizado en base a lo mencionado por (García & Jarabo) en su documento para aplicar el Método de los Factores Ponderados.
- **Ponderación de los parámetros y sus rangos respectivos:** Consiste en la calificación bajo un método de escala y peso (ponderación) para cada uno de los factores en rangos o valores numéricos, que componen cada uno de los parámetros, de acuerdo a las clasificaciones obtenidas dentro de la cartografía, se utilizará un rango de 1 a 5 para la calificación; siendo el menor valor (1) aquel que representa condiciones favorables para el análisis y el mayor valor (5), una condición más agravante, y la relación a aplicarse referente a la vulnerabilidad será la siguiente:

Imagen 51. Representación de Vulnerabilidad

| Clase | valor |
|----------|-------|
| Muy baja | 1 |
| Baja | 2 |
| Media | 3 |
| Alta | 4 |
| Muy Alta | 5 |

Esta relación se toma en base a las recomendaciones realizadas por (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, 2020); es pertinente aclarar que la ponderación para características y valores numéricos, es diferente de acuerdo al criterio lógico social y técnico basado en las recomendaciones planteadas por los autores citados en el marco teórico.

- **Calificación del grado de influencia de las variables físicas-técnicas y socioeconómicas:** Este porcentaje para la calificación total obtenida, se ponderará de acuerdo al grado de participación o influencia de las variables físicas y socioeconómicas en los deslizamientos o movimientos en masa, suscitados en el entorno de análisis, cabe resaltar que este parámetro se obtuvo de acuerdo a las estadísticas obtenidas en la cartografía de eventos naturales, otorgada por el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias de la zona 3 (Ambato); y este tópico se profundizará en la sección de “resultados y discusión” de la investigación.

La calificación a aplicarse se ha determinado de la siguiente manera:

Tabla 7. Calificación e influencia de factores en deslizamientos

| Calificación semicuantitativa de factores desencadenantes en los deslizamientos | | | |
|--|---|----------------------------|----------|
| Tipo | Amenazas | Grado de Influencia | % |
| Parámetros Socioeconómicos | Nivel Socioeconómico | 0.15 | 100% |
| | Densidad Poblacional | 0.30 | |
| | Conflictos de Uso del Suelo en Zonas Consolidadas | 0.15 | |
| | Aptitud Constructiva del Suelo | 0.30 | |
| | Valores Catastrales | 0.10 | |
| Parámetros Físicos - Técnicos | Pendiente | 0.30 | 100% |
| | Hidrología y erosividad | 0.30 | |
| | Influencia de cargas sobre el suelo | 0.20 | |
| | Estabilidad de talud - Tipo de Suelo | 0.20 | |

A continuación, se presenta la ponderación realizada para cada una de las clasificaciones obtenidas en los mapas cartográficos realizados a través del análisis SIG:

Parámetros Socioeconómicos

Imagen 52. Ponderación del factor socioeconómico

| Componente | Rango de clasificación (característica) | Calificación |
|-----------------------|--|---------------------|
| Socioeconómico | Bajo | 5 |
| | Medio Bajo | 4 |
| | Medio | 3 |
| | Medio Alto | 2 |
| | Alto | 1 |

NOTA: Este parámetro se califica relacionando condiciones socioeconómicas bajas, como un factor agravante relativo a la vulnerabilidad de las viviendas.

Imagen 53. Ponderación del factor de densidad poblacional

| Componente | Rango de clasificación (hab/Há) | Calificación |
|----------------------|---------------------------------|--------------|
| Densidad Poblacional | 1 - 52 | 1 |
| | 53 - 114 | 2 |
| | 115 - 183 | 3 |
| | 184 - 275 | 4 |
| | 276 - 528 | 5 |

NOTA: Este parámetro se califica relacionando una menor densidad poblacional, como un factor favorable, frente a los deslizamientos, debido a que las zonas menos densas son aquellas que poseen menor ocupación del suelo, y por lo tanto una mejor gestión y ordenamiento del mismo.

Imagen 54. Ponderación del factor del Uso del Suelo

| Componente | Rango de clasificación (Característica) | Calificación |
|-----------------------------|---|--------------|
| Conflictos de Uso del Suelo | Uso Adecuado | 1 |
| | Subutilizado | 2 |
| | Sobreutilizado Ligero | 3 |
| | Sobreutilizado Moderado | 4 |
| | Sobreutilizado Severo | 5 |

NOTA: Este parámetro se califica relacionando una mejor gestión del suelo (adecuada) como una condición favorable para prevenir los deslizamientos en laderas y quebradas, mientras que su sobreutilización, es una condición agravante.

Imagen 55. Ponderación del factor de la Aptitud Constructiva del Suelo

| Componente | Rango de clasificación (Característica) | Calificación |
|----------------------|---|--------------|
| Aptitud Constructiva | Alta | 1 |
| | Media Alta | 2 |
| | Media | 3 |
| | Baja | 4 |
| | Muy Baja - No Apta | 5 |

NOTA: Este parámetro se califica relacionando una mejor aptitud constructiva como una condición favorable del suelo frente a los deslizamientos, y una aptitud constructiva “baja” como aquella condición desfavorable, agravante y hasta desencadenante que aumenta la vulnerabilidad de las viviendas que se encuentran en dichas superficies.

Imagen 56. Ponderación del factor de los Valores Catastrales del Suelo

| Componente | Rango de clasificación (Valor por m ² del Suelo) | Calificación |
|-------------------------------|---|--------------|
| Valores Catastrales del Suelo | 3 - 40 | 5 |
| | 41-150 | 4 |
| | 151-400 | 3 |
| | 401-950 | 2 |
| | 951 - 2000 | 1 |

NOTA: Este parámetro tiende a relacionar las posibilidades económicas de las personas/familias que, en base al pago anual del valor del suelo de sus viviendas, podrían implementar estructuras en sus viviendas que mitiguen o prevengan los deslizamientos y consecuentemente disminuya el grado de vulnerabilidad.

Parámetros Físicos - Técnicos

Imagen 57. Ponderación del factor pendiente

| Componente | Rango de clasificación (%) | Calificación |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Pendiente | 0 - 5 | 1 |
| | 5 - 25 | 2 |
| | 25 - 50 | 3 |
| | 50 - 75 | 4 |
| | Mayor a 75 | 5 |

NOTA: Este parámetro se califica en base a la teoría citada en el marco teórico, y en función a los comportamientos mecánicos del suelo, junto con sus parámetros geotécnicos; por lo tanto aquellas pendientes con menor porcentaje serán aquellas más favorables frente al grado de vulnerabilidad, que aquellas con mayor valor, cuya característica intrínseca agrava las condiciones del entorno.

Imagen 58. Ponderación del Factor Hidrológico y erosivo del suelo

| Componente | Rango de clasificación (Ton/Há/Año) | Calificación |
|--------------------------------|--|---------------------|
| Hidrología - Erosividad | 0 - 10 | 1 |
| | 10 - 50 | 2 |
| | 50 - 100 | 3 |
| | 100 - 200 | 4 |
| | Mayor a 200 | 5 |

NOTA: Este parámetro se califica en relación al grado de influencia obtenido por el factor hidrológico (precipitaciones y drenajes naturales) en el índice de erosividad del suelo, cuestión en la cual los menores valores representan condiciones favorables frente a la vulnerabilidad de las viviendas.

Imagen 59. Ponderación del factor de influencia de las cargas sobre el suelo

| Componente | Rango de clasificación (Hogar/Há) | Calificación |
|------------------------------|--|---------------------|
| Cargas sobre el Suelo | 15 | 1 |
| | 23 | 2 |
| | 43 | 3 |
| | 66 | 4 |
| | 115 | 5 |

NOTA: Este parámetro se determinó en función al cálculo tipo presentado en la sección cartográfica del número de viviendas por hectárea, bajo dicho esquema de cálculo, se realizaron

las relaciones matemáticas correspondientes, y se determinó el rango de hogares por hectárea, siendo aquellos que poseen un mayor valor, los que lógicamente tendrán una mayor influencia de cargas sobre el suelo.

Imagen 60. Ponderación del factor de la estabilidad de talud

| <i>Componente</i> | <i>Rango de clasificación (Característica)</i> | <i>Calificación</i> |
|-----------------------------|--|---------------------|
| <i>Estabilidad de Talud</i> | Alta | 1 |
| | Media Alta | 2 |
| | Media | 3 |
| | Baja | 4 |
| | Muy Baja | 5 |

NOTA: Este parámetro tiene una relación directa con los valores obtenidos dentro del mapa de pendientes, ya que, en base a la demostración bajo modelos computarizados, se encontró aquellas pendientes que frente a condiciones estáticas y pseudoestáticas poseen una menor estabilidad, calificándolas a estas como factores agravantes para la vulnerabilidad de las viviendas.

En lo referente a la ponderación final, del grado de influencia en la vulnerabilidad de las viviendas en función de los parámetros socioeconómicos y físicos – técnicos, se realiza partiendo de la información proporcionada por el (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, 2020) en lo referente archivos de información geográfica, cuyo contenido se basa en la geolocalización mediante una capa de puntos, que denotan los eventos y desastres ocurridos en la ciudad de Ambato entre el año 2013 y 2018, dentro de éstos se hallan incendios, erupciones, aludes, etc. Esta información será de utilidad, para realizar una aproximación estadística, en base a las causas atribuidas a los eventos y desastres (si fueron generadas por factores antrópicos o físicos/naturales), lo que facilitará una calificación en torno al grado de participación humano en los eventos suscitados en la ciudad.

MAPA DE DESASTRES EN AMBATO 2013-2018

UBICACIÓN:

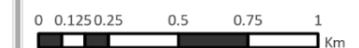
| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

- Coordenada de Referencia
- Tipo de Desastre**
- ✕ ALUVIÓN
- ★ COLAPSO ESTRUCTURAL
- ▲ DESLIZAMIENTO
- ◇ SISMO
- Río Principal**
- Río Ambato

DESCRIPCIÓN:

En el mapa se muestran los eventos desencadenados por factores físicos/naturales en la urbe de la ciudad de Ambato; se han seleccionado aquellos eventos relacionados con los parámetros descritos en la investigación, es decir, aquellos relacionados con la geología, geomorfología, sismicidad y movimientos en masa; como se observa, la mayor parte de eventos (80%) suscitados se relacionan con deslizamientos, y se ubican en aquellos sitios geomorfológicamente más escarpados o con pendientes inclinadas.

Fuente: ESRI, 2020 - SNI, 2020 - SNGRE, 2019



ESCALA: 1:25,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."

Trabajo de Fin de Máster
MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



UNIBA
 Centro Universitario
 Internacional
 de Barcelona



CENTRO DE ESTUDIOS:
 UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA

ELABORADO POR:
 Alejandro Acosta Araujo - Alumno

FECHA:
 AGOSTO 2020

TUTOR:
 Justino Losada Gómez

116



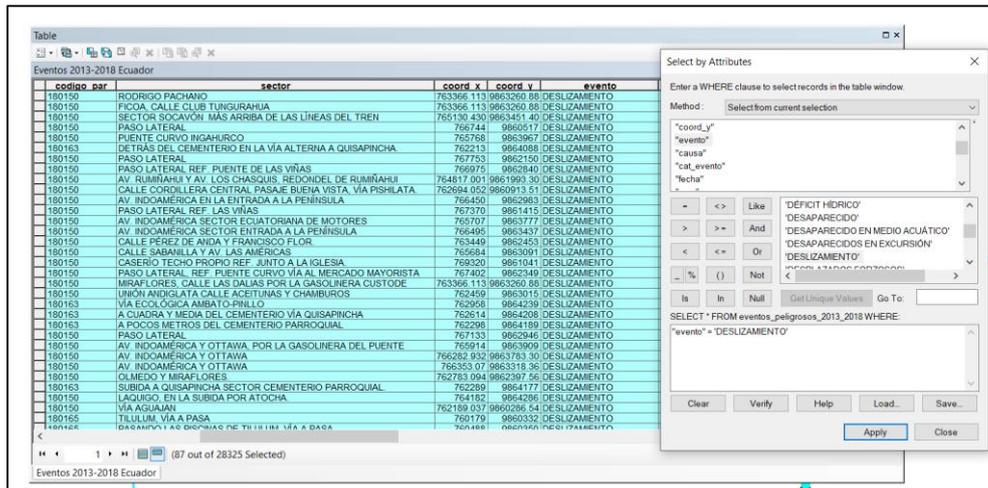
Diagrama de Localización



Coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)

Dentro del mapa expuesto, y en el programa ArcGis, se realiza un proceso de selección por atributos, aplicando filtraciones a la tabla de datos, en donde se estipulen factores que muestren en únicamente eventos relacionados con deslizamientos o aluviones, que se hallen dentro de la urbe de la ciudad de Ambato.

Imagen 61. Selección por atributos



Posteriormente, se realiza una segunda filtración en la que se enumeren aquellos eventos relacionados con deslizamientos y aluviones dentro de la urbe, y cuántos de ellos fueron causados por factores físicos-naturales, o factores antrópicos.

El resultado fue el siguiente:

Tabla 8. Resultados de causas de eventos de deslizamientos en Ambato entre el 2013-2018

| CAUSA DEL EVENTO | CANTIDAD (U) | PORCENTAJE (%) |
|----------------------|--------------|----------------|
| ETAPA INVERNAL | 35 | 42% |
| NATURAL | 45 | 54% |
| ÉPOCA LLUVIOSA | 3 | 4% |
| ANTRÓPICO | 1 | 1% |
| Total general | 84 | 100% |

Elaborado Por: El Autor.

Fuente: SNGRE, 2020.

En base a los resultados obtenidos, se observa que la mayor participación inmersa dentro de un desastre natural relacionado con los deslizamientos o aluviones, se debe a causas de intensas precipitaciones, causas naturales, que realmente son objeto de investigación, ya que en esta etapa y con la información existente no se puede determinar con exactitud, si lo que actualmente se cataloga como “natural”, puede tener características agravantes relacionadas con la actividad humana o deficientes prácticas constructivas (se abordará este aspecto en el

apartado de “Resultados y Discusión”); y finalmente, se atribuye únicamente un 1% a desastres generados netamente por una actividad antrópica.

Para asignar el peso correspondiente, la investigación no se guiará únicamente en los datos estadísticos, ya que la conocer el entorno y los antecedentes de la ciudad de Ambato, se toma en cuenta también la realidad que vive la urbe; el respaldo de esta información se toma del Diario “La Hora” del 6 de agosto del 2019, cuyo título es “7 de cada 10 construcciones son informales en Ambato”; con esta realidad, se deduce que el componente social y económico bajo esta lógica tendría una incidencia del 70% en caso de que la edificación sufra una falla o no soporte una acción externa; en base a los datos obtenidos de la tabla de atributos del SIG, no existe una relación clara con la realidad, por lo tanto, se aplicarán los siguientes pesos:

| CAUSA | FACTOR DE PARTICIPACIÓN EN LA CURRENCIA |
|------------------|---|
| FÍSICOS-TÉCNICOS | 0.6 |
| SOCIOECONÓMICOS | 0.4 |

Se aplica un factor porcentual del 60% para los parámetros físicos-naturales y un 40% para los factores socioeconómicos, debido a que, no se les puede otorgar una misma participación, ya que esto se encuentra condicionado a la realidad de cada ciudad; y específicamente el caso de la ciudad de Ambato, muestra que dicha realidad, otorgándole un mayor peso a los parámetros relacionados con la geomorfología y las estructuras por sus características intrínsecas y teoría expuesta en el Marco Teórico, sin embargo, de acuerdo a la realidad mostrada en fotografías en la investigación, se tiene una realidad en la que aspectos sociales tienen un papel importante en la vulnerabilidad específica de la urbe de Ambato.

Bajo este aspecto, se procede a realizar el mapa de vulnerabilidad, bajo la siguiente relación matemática, que posteriormente se aplicará en el SIG, bajo comandos anteriormente utilizados, es decir, bajo la interoperabilidad de “Rásters”.

$$Iv1 = 0.15 * (NSE) + 0.30 * (DP) + 0.15 * (CUSZC) + 0.30 * (ACS) + 0.10 * (VC)$$

$$Iv2 = 0.30 * (PE) + 0.30 * (HE) + 0.120 * (ICS) + 0.20 * (ET)$$

$$V = 0.60 * (Iv2) + 0.40 * (Iv1)$$

Dónde:

- Iv1= Índice de vulnerabilidad de parámetros socioeconómicos
- Iv2= Índice de vulnerabilidad de parámetros físicos-técnicos
- V= Índice de Vulnerabilidad
- NSE= Nivel Socioeconómico
- DP= Densidad Poblacional
- CUSZC= Coeficiente de Uso del Suelo en Zonas Consolidadas
- ACS= Aptitud Constructiva del Suelo
- VC= Valores Catastrales
- PE= Pendiente
- HE= Hidrología y Erosividad
- ICS= Influencia de Cargas Sobre el Suelo
- ET= Estabilidad del Talud

En base a esta relación matemática, se utilizará el software ArcGis, con las capas anteriormente generadas, dispuestas en el orden de los diferentes mapas cartográficos que representan condiciones y características específicas del área de estudio y sus dinámicas; se realiza una asignación de pesos a cada capa convertida en formato “Ráster”, para que posteriormente se pueda aplicar el comando “Weighted Overlay”, que funciona de una manera idónea, para precisar lo que se busca obtener, un mapa de vulnerabilidad que integre todos los factores que se han desarrollado en la investigación.

Imagen 62. Asignación de calificaciones por capa Ráster

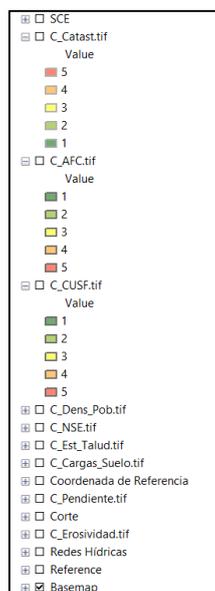


Imagen 63. Capas Ráster finales Superpuestas

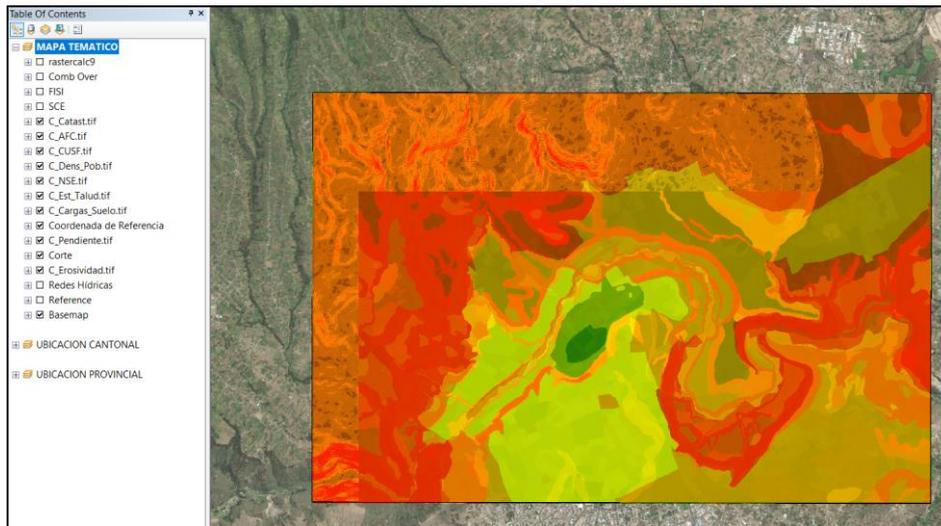


Imagen 64. Asignación de pesos, grado de influencia y calificación de capas

Weighted Overlay

Weighted overlay table

| Raster | % Influence | Field | Scale Value |
|--------------|-------------|--------|-------------|
| C_Catast.tif | 20 | Value | |
| | | 1 | 1 |
| | | 2 | 2 |
| | | 3 | 3 |
| | | 4 | 4 |
| | | 5 | 5 |
| | | NODATA | NODATA |
| C_AFC.tif | 30 | Value | |
| | | 1 | 1 |
| | | 2 | 2 |
| | | 3 | 3 |
| | | 4 | 4 |
| | | 5 | 5 |
| | | NODATA | NODATA |
| C_CUSF.tif | 20 | Value | |
| | | 1 | 1 |
| | | 2 | 2 |
| | | 3 | 3 |

Sum of influence: 100 Set Equal Influence

Evaluation scale: 1 to 9 by 1 From: To: By:

Output raster

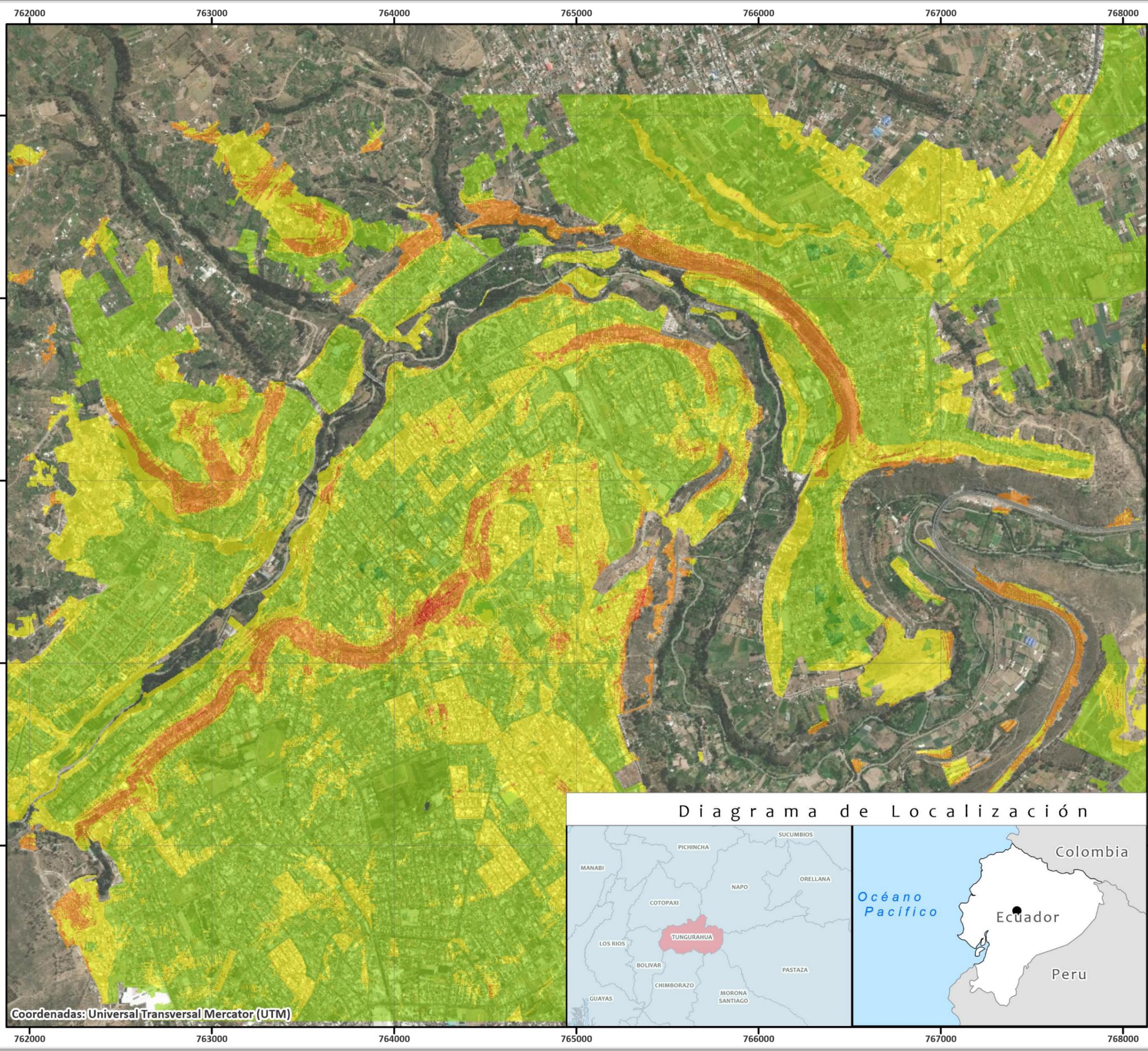
OK Cancel Environments... << Hide Help Tool Help

Weighted overlay table

The weighted overlay table allows the calculation of a multiple-criteria analysis between several rasters.

Table:

- Raster—The input criteria raster being weighted.
- % Influence—The influence of the raster compared to the other criteria as a percentage of 100. Values are rounded down to the nearest integer. The sum of influences must equal 100.
- Field—The field of the criteria



MAPA DE VULNERABILIDAD DE LAS VIVIENDAS DE LA URBE DE AMBATO

UBICACIÓN:

| | |
|-----------------------|----------------|
| PROVINCIA: TUNGURAHUA | ZONA URBANA |
| CANTÓN: AMBATO | SECTOR: VARIOS |

Vulnerabilidad de las Viviendas

Vulnerabilidad

- Muy Baja
- Baja
- Media
- Alta
- Muy Alta

DESCRIPCIÓN:

En el presente mapa se exhibe la vulnerabilidad de las viviendas en base a factores físicos/naturales y socioeconómicos, mediante los cuales se aprecian las zonas que denotan un mayor o menor grado de riesgo, de acuerdo a la representación de colores utilizada en la escala, la misma que se halla justificada y desarrollada en la investigación; la delimitación de dicho mapa se enmarca en la zona urbana de la ciudad de Ambato.

Fuente: ESRI, 2020 - Aster GDEM, 2020.

0 0.1 0.2 0.4 0.6 0.8 1 Km

ESCALA: 1:20,000

Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Proyección: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unidad: Metros

"Estudio y análisis de la vulnerabilidad ante riesgos naturales de las viviendas ubicadas en las principales laderas y quebradas de la ciudad de Ambato - Ecuador y su incidencia en la calidad de vida de sus habitantes."
 Trabajo de Fin de Máster
MÁSTER EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL



Coordenadas: Universal Transversal Mercator (UTM)

| | |
|---|-----------------------------|
| CENTRO DE ESTUDIOS: UNIBA - Centro Adscrito: UNIVERSITAT DE BARCELONA | |
| ELABORADO POR: Alejandro Acosta Araujo - Alumno | FECHA: JULIO 2020 |
| TUTOR: Justino Losada Gómez | |

Resultados y Discusión

Análisis de Resultados

- En base a las fotografías presentadas de las diferentes zonas de la urbe de Ambato, de aquellas zonas consideradas como las más “críticas” de acuerdo a la problemática de los deslizamientos y su incidencia en la vulnerabilidad de las viviendas emplazadas en dichos sitios, aplicando el método de la observación, los resultados muestran que el mapa de vulnerabilidad obtenido, denotan que varios factores (físicos y socioeconómicos) tienen diferentes grados de influencia.
- De acuerdo a la clasificación de zonas con mayor o menor vulnerabilidad, la superficie que abarca cada estado es la siguiente:

Tabla 9. Superficie de áreas de vulnerabilidad

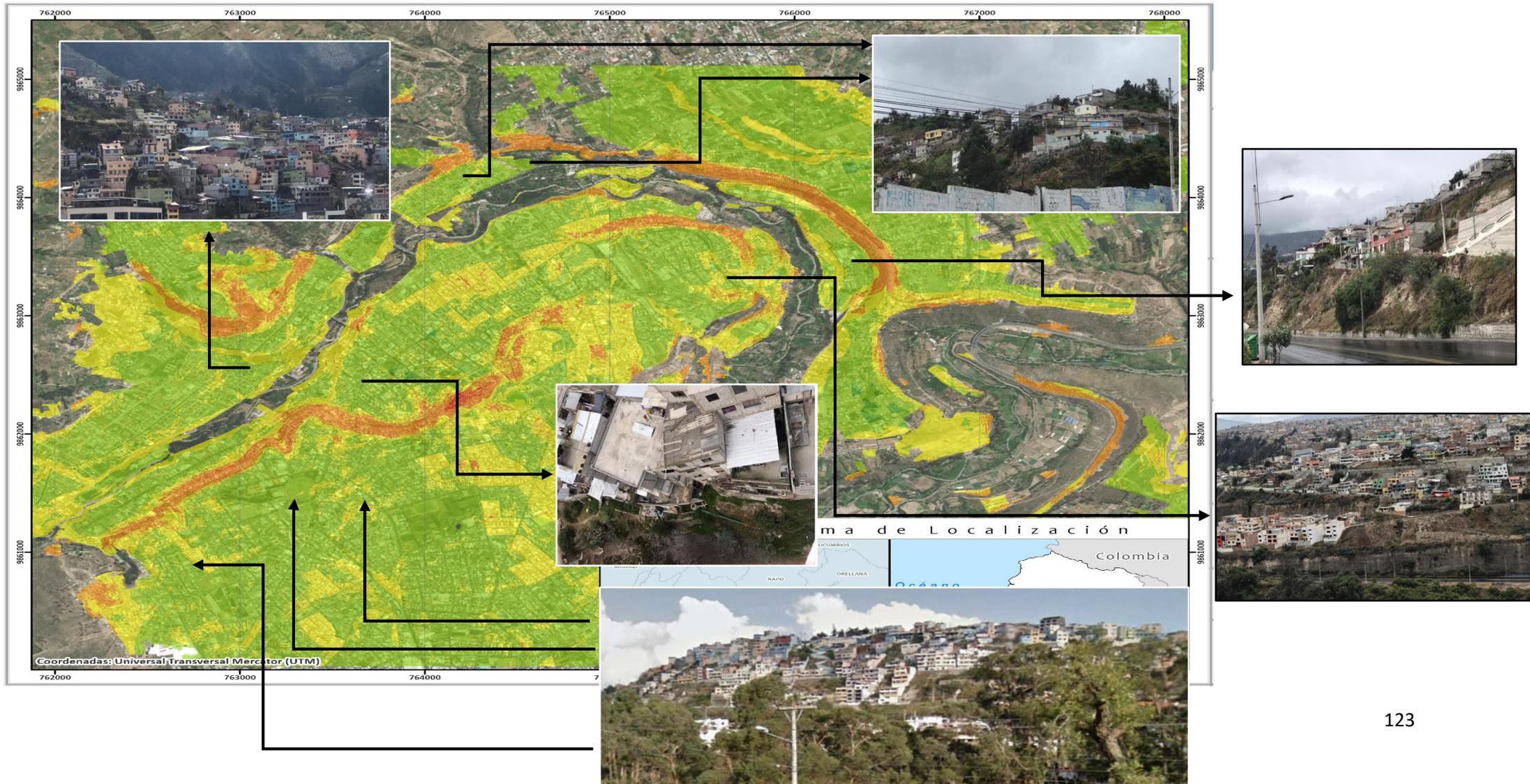
| <i>Vulnerabilidad</i> | <i>Superficie (Há)</i> |
|-----------------------|------------------------|
| Muy Baja | 301.81 |
| Baja | 1479.39 |
| Media | 530.35 |
| Alta | 49.82 |
| Muy Alta | 0.41 |

Elaborado Por: El Autor.

NOTA: Los resultados muestran que la mayor superficie referente a las áreas de vulnerabilidad de las viviendas, se encuentran entre “Muy Baja” y “Baja”, sin embargo, existen aproximadamente 50 hectáreas dentro de la urbe de Ambato, que se han catalogado dentro de una vulnerabilidad “Alta” y Muy Alta”.

- En el mapa realizado de los desastres naturales, se aprecia que la mayor parte de eventos ocurridos entre los años 2013 y 2018, son causados por deslizamientos, o tienen una relación estrecha con ellos; obteniendo una cantidad total de 68.
- Para la obtención de resultados se involucraron parámetros y factores enmarcados bajo características físicas y socioeconómicas; las mismas que a través de un análisis de ponderación y pesos en el SIG; las mismas que resultaron favorables para la elaboración de un mapa, que busca representar la vulnerabilidad de las viviendas de las distintas zonas de la urbe de Ambato, bajo una óptica integral que no se limita a características físicas, sino que, lleva consigo la realidad de las dinámicas sociales y económicas que modifican el comportamiento de la población y su calidad de vida

En base a las zonas críticas (Alta y Muy Alta) dentro del mapa de vulnerabilidad, se presenta a continuación la realidad de la ciudad con fotografías tomadas in situ, para respaldar los resultados obtenidos en el mapa, con la finalidad de que dicho aspecto, se desarrolle y discuta en el presente capítulo de la investigación.



Discusión

- Es importante destacar que dentro de la investigación se ha incluido un porcentaje de “influencia” de los factores socioeconómicos y físicos; existen pocas investigaciones en las cuales se manifieste cuán influyente son las actividades antrópicas y las físicas, ya que no existe una cuantificación real de los datos y un estudio específico característico de la geomorfología de la ciudades, y naturalmente las dinámicas sociales; un avance en este aspecto permitiría que los recursos humanos, económicos y materiales, sean dispuestos a través de los resultados obtenidos en dicho análisis; porque realmente hoy no existe un estudio profundo en determinar si un deslizamiento ocurrió porque las características litológicas no eran las adecuadas, por la capacidad portante del suelo, porque la zona es altamente densificada y el uso del suelo se encuentra sobreutilizado, o porque la construcción no fue realizada bajo una supervisión técnica; lamentablemente, hoy en día se realizan aseveraciones únicamente en función a parámetros físicos (sismos o lluvia), pero si se realizara una investigación de todos los parámetros que realmente intervienen en dicho desastre, se podrían tener actuaciones más acertadas que me permitirán optimizar recursos de la administración, o de los habitantes de una ciudad.
- El análisis de los desastres naturales debe avanzar hacia una connotación y entorno que no solamente se limite a cuantificar o calificar parámetros físicos; el desarrollo a nivel global ha permitido que las ciudades crezcan bajo parámetros que no se toman en cuenta a nivel de desastres naturales, y quizás se los deje en segundo plano, pero es importante resaltar lo que manifiesta (Pine, 2009), la resiliencia de una ciudad o comunidad, debe ser tomada en cuenta como un factor en el momento de tomar decisiones; y a la vez, la vulnerabilidad no basta en muchas ocasiones (de acuerdo a cada realidad de la ciudad), sino que, un desastre natural debe ser estudiado en toda su dimensión, origen, medios, y posibles consecuencias. Lamentablemente este análisis actualmente, no es considerado como una prioridad, incluso a costas de que, en materia de riesgos naturales, los deslizamientos ocupan el primer lugar en pérdidas humanas y económicas; el Ecuador no es lejano a dicha realidad, la pobreza y la carencia de una buena administración son factores que han permitido que muchas vidas humanas se pierdan por negligencia o falta de recursos.

- Es importante mencionar que, para realizar un mapa de vulnerabilidad, o de riesgos; la inmersión del factor económico es de suma importancia; el resultado obtenido en la presente investigación, fue una gran muestra de aquello. El mapa de pendientes mostraba que el relieve topográfico en muchos sitios, denotaba pendientes muy inclinadas e incluso escarpadas; sin embargo, muchas de estas zonas se encontraban en sectores catalogados como de estratos económicos altos, la superposición de capas, en la elaboración del mapa final (vulnerabilidad) arrojó resultados en los que estas zonas se encontraban bajo una vulnerabilidad muy baja o baja; esto corroborado in situ, muestra que, la capacidad adquisitiva y económica de las familias que han edificado viviendas en estas superficies, posean la capacidad de implementar infraestructuras que protegen al bien inmueble, y minimizan su vulnerabilidad frente a desastres naturales; por otro lado las presiones sociales y políticas, han gestionado que en dichas zonas se realicen obras de estabilización, lo que a su vez disminuye el riesgo, tal como se muestra en las imágenes:



Como se observa, incluso el estilo de vivienda y la tipología constructiva denotan un estrato económico medio – alto, en relación a las fotografías tomadas en las zonas con una mayor vulnerabilidad; esta característica no se limita a una condición física/natural, al contrario, demarca que la influencia socioeconómica puede ser un punto de inflexión en cuestión a la consecuencia de un desastre natural; este parámetro debería analizarse en cada ciudad, de acuerdo a sus características intrínsecas, y componentes; al igual que su ponderación en la elaboración de mapas. Al poner esta realidad como tema de discusión, (Saurí, 2003) habla que

la vulnerabilidad muchas veces se pone a discusión bajo contextos teóricos de antaño, ésta debe liberarse de aquella subordinación a los fenómenos naturales, y debe ampliar sus dimensiones; se deben incluir condiciones económicas, políticas y sociales.

Coincido con el autor (Saurí, 2003) cuando manifiesta que, si se aumentan los márgenes de seguridad en las condiciones de vida cotidiana, no sea necesario recurrir constantemente a condiciones tecnológicas y estructurales, que de por sí, nunca solventan un riesgo en su totalidad, al igual que genera un agravante medioambiental.

- La realidad de la plusvalía en la ciudad de Ambato, se enmarca en un contexto en el cual, el “suelo” se ha vuelto cada vez más costoso (en la última década), existen sectores en los cuales el costo por m² ha subido más de un 150%, únicamente por presiones sociales; lo que ha encarecido muchos lotes de terreno; sin embargo, no existe ninguna justificación técnica, para esta alza. La elaboración de cartografía que denote zonas de mayor riesgo, en donde las viviendas pueden ser más o menos vulnerables, facilitaría a que se regule el costo de muchos terrenos dispuestos en aclive o declive, o que se caractericen por encontrarse en una ladera o quebrada, o cerca de ella. La administración podría disponer que al avalúo de un bien inmueble se le añada el factor riesgo frente a un desastre natural, y esto regularía la especulación que sufren muchos terrenos.
- Finalmente, es oportuno traer a colación, que muchas ciudades (incluida Ambato) carecen de una planificación urbanística adecuada; existen grandes faltas de control, y despreocupaciones por realidades claras de pobreza, desorden, servicios básicos e infraestructuras; no se puede llegar a una óptima planificación o sostenibilidad de una ciudad, a partir del desconocimiento de las realidades del entorno (Escobar, 2006).
- Para poder solucionar la problemática desarrollada en la presente investigación es necesaria una Planificación Estratégica, que primeramente se “empape” de las realidades sociales existentes en una ciudad, para que una vez se tenga claro el entorno y la realidad física, social y económica, se proceda a implementar una Planificación Normativa/Vinculante (para regular el uso del suelo en las edificaciones) y finalmente determinar plazos para cada etapa de la planificación junto con sus diferentes componentes y actores; teniendo en cuenta un marco de temporalidad, mediante el cual yo pueda realizar una evaluación constante, y analizar si las medidas aplicadas están

surtiendo efecto; o si debería cambiarse o actualizarse algo, en función a la evolución de la ciudad.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Es preciso destacar que se comprobó con el mapa de vulnerabilidad, el análisis SIG y computacional, que aquellas zonas observadas y fotografiadas in situ, se enmarcaron como de una alta vulnerabilidad.
- Se denota que la mayor parte de la superficie de la urbe se constituye como una zona de baja vulnerabilidad, sin embargo, a la vez existe una superficie de 50 hectáreas aproximadamente que se ha catalogado de una alta vulnerabilidad, en la que se incluyen factores físicos y económicos, tal y como se ha mostrado en las fotografías y el mapa.
- A través de las fotografías y las visitas de campo se ha comprobado que, las zonas diagnosticadas dentro de una categoría socioeconómica baja, son aquellas que presentan una mayor vulnerabilidad, inclusive, en aquellas zonas que, geomorfológicamente hablando, no presentan una mayor incidencia por parámetros físicos; la informalidad, los sistemas constructivos, y la carencia de infraestructuras en las viviendas emplazadas en laderas, quebradas, o zonas con un gran porcentaje de pendiente (mayor al 30%), han sido factores que en conjunto, resultan de una gran vulnerabilidad; y más aún frente a eventos naturales como lluvias o sismos, que han resultado y resultarían con grandes pérdidas económicas (viviendas) y humanas si la vulnerabilidad no se mitiga en aquellos emplazamientos informales, y se previene con una planificación óptima y controlada por la administración de la ciudad de Ambato.
- La calidad de vida de las familias que habitan en viviendas informales e inclusive en aquellas que se han construido de forma legal, pero que se hallan en zonas de alta vulnerabilidad; se ve afectada de gran manera actualmente, ya que, como se observa en fotografías y a la vez se constató in situ, la gran mayoría de las familias, no cuenta con los servicios básicos, especialmente el agua potable y alcantarillado; lo que genera conexiones ilícitas a las redes en el mejor de los casos; y por lo contrario; genera que la salubridad se deteriore en el entorno en el que habitan.
- Aquellas viviendas constituidas de forma lícita, también se ven afectadas en su calidad de vida; en cuánto a que, en eventos de precipitaciones fuertes y prolongados;

manifiestan problemas de erosión del suelo, y no cuentan con infraestructuras adicionales o complementarias dentro en su bien inmueble para mitigar dicho evento, y viven con zozobra en caso de ocurrir un evento sísmico; ya que esto representaría un agravante en la estabilidad del talud; y la administración emite permisos constructivos, sin lineamientos específicos que se ajusten a las realidades intrínsecas de muchos sitios de la ciudad, y esto genera que las construcciones no tengan infraestructura necesaria como muros o drenajes, o que la construcción se edifique al límite de la corona del talud.

- Se concluye también que, a pesar de que, geomorfológicamente la pendiente en muchas zonas de la ciudad presenta un alto porcentaje de inclinación, aquellas zonas categorizadas por la administración y los habitantes de la ciudad de Ambato, como de un “estrato socioeconómico alto”; presentan una menor vulnerabilidad frente a eventos naturales; debido a que, al pertenecer a familias con condiciones económicas estables y favorables, las viviendas han sido construidas bajo las normativas técnicas para soportar eventos recurrentes en la zona (lluvias) y eventuales (sismos); ya que poseen sistemas de drenajes, alcantarillado pluvial, e infraestructuras perimetrales que garantizan una mayor seguridad y protección.
- Se concluye también que, al igual que en muchas otras ciudades del Ecuador y del Mundo, incluso dentro de zonas de mayor o menor vulnerabilidad, se presentan viviendas ubicadas de forma dispersa, que son más o menos vulnerables a un evento natural; esto se encuentra en función de la dirección técnica de un profesional en el momento de la construcción, o si ésta se construyó sin la asistencia del mismo; esta característica se cataloga como un caso excepcional o específico; al ser factores dispersos, no poseen una mayor afectación en la zona; esto bajo cualquier dinámica desarrollada en las ciudades en dónde se presenten estos casos con mínimos porcentajes de emplazamientos, de acuerdo a lo que manifiesta (Moral Fernández, 2014).
- Lo estipulado en el Plan de Ordenamiento Territorial de Ambato (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Ambato, 2009), acerca de las prohibiciones para construir en laderas o quebradas; o guardar una distancia mínima de la corona de los taludes, se ha respetado muy poco, y a la vez, controlado y gestionado muy poco por parte de las distintas administraciones y Secretaría Nacional de Riesgos en la ciudad; ya que es cierto que, se han ido implementando diferentes ordenanzas municipales que

limitan la informalidad en las construcciones, o exigen estructuras complementarias para emitir un permiso de construcción y aprobación de planos; sin embargo el control ha sido mínimo, ya que se han encontrado viviendas recientes (antigüedad entre 3-5 años) en sitios de alta vulnerabilidad, que se han construido sin control alguno, y sin las condiciones estructurales técnicas para soportar un evento natural.

Recomendaciones

- Se recomienda que la administración de la ciudad de Ambato, implemente dentro del departamento de Planificación y Avalúos y Catastros, un mapa de riesgos en la ciudad, que sea realizado en función a las diferentes plataformas, en donde intervengan variables como la vulnerabilidad y las diferentes amenazas de acuerdo al sector, para que en función a ello, la planificación urbana se pueda desarrollar de una manera más ordenada segura, y que la dinámica urbana no se ceda ante las presiones inmobiliarias y sectores privados.
- Los permisos constructivos y aprobación de planos de edificaciones, deberían gestionarse de mejor manera, y el análisis debería ser multidisciplinar, (Geógrafo, Ing. Civil, Arquitecto, y Sociólogo) con la finalidad de que un emplazamiento pueda contar con todas las características técnicas, y a la vez, garantizar la calidad de vida en función a la evolución social de la zona.
- Se recomienda que se haga un análisis en función a los parámetros más incidentes en los desastres naturales relacionados con los deslizamientos, de acuerdo a las características intrínsecas geomorfológicas, climáticas, geológicas y sociales de la ciudad de Ambato, con el fin de que los resultados obtenidos, puedan servir como un factor para la toma de decisiones más óptimas para la prevención y mitigación de la vulnerabilidad y el riesgo como tal, frente a los eventos naturales.
- Todo análisis y estudio en el que se encuentren inmersas las dinámicas físicas y sociales de la Tierra, debe ser realizado mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica, ya que, éstos permiten realizar cartografía que facilita la interacción entre una realidad física(entorno) y alfanumérica(estadísticas); lo que permite una toma de decisiones más acertada (Moreira Cedeño, 2011).
- Se recomienda actualizar las ordenanzas y la Planificación y Ordenamiento Territorial en la ciudad de Ambato, ya que la normativa vigente, no contempla ni regula muchas

realidades que se viven en zonas específicas de la ciudad; y sobretodo fue elaborada hace más de 10 años.

Bibliografía

- Alcántara Ayala, I. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones Geográficas*, 7-25.
- Amos, J. (29 de Diciembre de 2018). *Anak Krakatoa: el dramático colapso del volcán de Indonesia tras su erupción*. Obtenido de BBC: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46709071>
- Antroico, L., De Pascale, F., Coscarelli, R., & Gullà, G. (2020). Landslide risk perception, social vulnerability and community resilience: The case study of Maierato (Calabria, southern Italy). *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 1-40.
- Ayala-Carcedo, F. (2003). Una reflexión sobre los mapas de susceptibilidad a los movimientos de Ladera, Su Naturaleza, Funciones, Problemática y Límites. *Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*(4), 7-20.
- Barreto, M., & Teles, F. (2020). Landslide risk perception survey in Angra dos Reis (Rio de Janeiro, southeastern Brazil): A contribution to support planning of non structural measures. *Land Use Policy*(91), 1-12.
- Caballero, E., & Sosa, C. (2015). Riesgos y morfología Urbana: ciudades en planicies y laderas. *Ciencias Espaciales*, 8(2), 115-133.
- Cifuentes, D. (2011). Modelación de vulnerabilidad física de estructuras de uno y dos pisos, asociada a deslizamientos. Bogotá, Colombia: Departamento Civil y Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.
- Cutter, S. (2001). *American Hazardscapes: The Regionalization of Hazards and Disasters*. Washington D.C.: Joseph Henry Press.
- Diario "La Hora". (06 de Agosto de 2019). En Ambato 7 de cada 10 construcciones son informales.
- Emdad, C. (2005). *Mitigation of Natural Hazards and Disasters: International Perspectives*. Winnipeg, Canada: Springer.
- Escobar, C. (Agosto de 2006). La degradación de laderas urbanas y su relación con la pobreza. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Font, X., Serra, J., & Pinto, V. (1996). Los riesgos geológicos en la Ordenación Territorial. *Acta Geológica Hispánica*, 30(1-3), 83-90.
- Ganderton, P. (2005). Benefit Cost Analysis of Disaster Mitigation: Application as a policy and Decision Making Tool. *Mitigation of Natural Hazards and Disasters: International Perspectives*, 445-465.
- Ganderton, P. (2005). Benefit-Cost Analysis of Disaster Mitigation: Application as a Policy and Decision-Making Tool. *Mitigation And Adaptation Strategies for Global Change*, 445-465.
- García, F., & Jarabo, F. (s.f.). Obtenido de Campus Virtual Ull: chrome-extension://oemmndcblldboiebfnladdacbfmadadm/https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/5075/mod_resource/content/1/Problemas/Met-Local-Ponderado-ejemplo.pdf
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Ambato. (2009). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la ciudad de Ambato. Ambato, Ecuador: Ediciones Legales EDLE S.A.

- Gobierno del Ecuador. (30 de Junio de 2016). Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo. Quito, Pichincha, Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda del Ecuador.
- Gomez, J., Diaz, V., & Lopez, C. (Mayo de 2019). *GitHub*. Recuperado el 19 de Julio de 2020, de https://github.com/Vicajo/Tarea_1/blob/master/README.md
- González Del Tánago, M. (1991). La Ecuación Universal de Pérdidas del Suelo, Pasado, Presente y Futuro. *Ecología*(5), 13-50.
- Hernández, Y., & Ramírez, H. (2016). Evaluación del Riesgo Asociado a la Vulnerabilidad Física por Taludes y Laderas Inestables en la Microcuenca Cay, Ibagué, Tolima, Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26(2), 111-128.
- Hyndman, D., & Hyndman, D. (2010). *Natural Hazards and Disasters*. Belmont - California: CENGAGE Learning.
- Ilustre Municipalidad de Ambato. (Enero de 2009). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Ambato, Ecuador.
- INAMHI. (2019). Actualización del Estudio de Lluvias Intensas del Ecuador. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
- INEC. (2010). Censo Poblacional del Ecuador. Ecuador: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- Instituto Geográfico Militar. (2019). Ecuador.
- Latrubesse, E. (2009). *Natural Hazards And Human-Exacerbated Disasters in Latin America*. Austin: ELSEVIER.
- López , J., & López, C. (2004). El urbanismo de ladera: Un reto ambiental, tecnológico y del ordenamiento territorial. *Bitácora Urbano Territorial*, 94-102.
- López, E., Posada, C., & Moreno, J. (2006). Los Sistemas de Información Geográfica. *I Congreso de Ciencia Regional de Andalucía en el umbral del siglo XXI* (págs. 789-804). Universidad de Sevilla.
- McGuire, B., Mason, I., & Kilburn, C. (2002). *Key issues in Environmental Change. Natural Hazards and Environmental Change*. London: Arnold.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción. Quito, Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- Moral Fernández, L. (Julio de 2014). Cálculo de la susceptibilidad de deslizamiento de terreno en Lorca mediante un Sistema de Información Geográfica. *Tesis de Grado en Ingeniería Geomática y Topografía*. Madrid, España: Escuela Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía - Universidad Politécnica de Madrid.
- Moreira Cedeño, F. (2011). Vulnerabilidad Vial en Función a los Riesgos Naturales para el cantón Ambato. *Tesis de Maestría* . Ambato, Ecuador: Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - Universidad Técnica de Ambato.
- Paz, J., González , R., Gómez, M., & Velasco, J. (2017). Metodología para elaborar mapas de susceptibilidad a procesos de remoción en masa, análisis del caso ladera sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Investigaciones Geográficas*(92), 128-143.
- Pearce, L. (2005). The Value of Public participation During a Hazard, Impact, Risk and Vulnerability (HIRV) Analysis. *Mitigation of Natural Hazards and Disasters: International Perspectives*, 411-441.

- Pine, J. (2009). *Natural Hazards Analysis*. En J. Pine. Boca Raton - Florida, USA: Taylor & Francis Group.
- Pollock, W., Grant, A., & Wartman, J. (2019). Multimodal method for landslide risk analysis. *MethodsX*(6), 827-836.
- Quesada, A., & Barrantes, G. (2017). Modelo Morfométrico para determinar áreas susceptibles a procesos de ladera. (UNAM, Ed.) *Investigaciones Geográficas*(94), 37-48.
- Santacana, N., Baeza, C., Corominas, J., De Paz, A., & Marturià, J. (2002). Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica. Aplicación a la Población de Lilles (Pirineo Oriental). *Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*(4), 55-82.
- Saurí, D. (2003). Tendencias recientes en el análisis geográfico de los riesgos ambientales. (U. A. Barcelona, Ed.) *AREAS Revista de Ciencias Sociales*(23), 17-30.
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (16 de Agosto de 2020). *Factores y su Valoración para la metodología preliminar de elaboración de mapas de amenaza por movimientos en masa*. Recuperado el 2020, de <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/>
- Sierra, A. (2009). La política de mitigación de los riesgos en las laderas de Quito: ¿qué vulnerabilidad combatir? *BIFEA*, 3(38), 737-753.
- Suango-Sánchez, V., Rodríguez de la Vera, K., Moreno, V., Andrade, S., Díaz, J., & Yépez, J. (2018). Aptitud física constructiva. Caso de Estudio: Ciudad de Pedernales. *Polo del Conocimiento*, 3(28), 381-400.
- Suárez, J. (2009). Comportamiento Sísmico de los Taludes. En *Deslizamientos: Análisis Geotécnico* (Vol. 1). Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Viera, P. (06 de Julio de 2017). *Construcciones UCE*. Recuperado el 02 de Agosto de 2020, de <https://construccionesuce.wordpress.com/2017/07/06/metodos-empiricos-para-determinar-la-resistencia-del-terreno/>
- Willems, P., & Navarrete, G. (2002). Herramientas SIG como soporte a la Planificación Territorial dentro del Estudio de Ordenamiento Territorial de las laderas Sur-Orientales del Volcán Pichincha en Quito, Ecuador. Quito, Ecuador: Unidad de Inteligencia Artificial y Sistemas de Información Geográfica & GDN Consultores.