

Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

SEDE
ESMERALDAS

ESCUELA DE GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

ANÁLISIS DE ZONAS DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA E
INUNDACIONES, EN LAS PARROQUIAS 5 DE AGOSTO Y SIMÓN PLATA
TORRES, MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA (SIG), CON LA FINALIDAD DE PROPONER ÁREAS
URBANIZABLES.

PREVIO AL GRADO ACADÉMICO DE
INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL

AUTOR

AÑAPA FALCONES FABRICIO ALEJANDRO

ASESOR

MGT. JAIME SAYAGO HEREDIA

ESMERALDAS, AGOSTO 2018

Trabajo de tesis de grado aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de grado de la PUCESE previo a la obtención del título de
INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL

Presidente tribunal de Graduación

Lector 1

Lector 2

Coordinador Escuela de Gestión Ambiental

Ph.D. Jorge Velazco Vargas

Director de Tesis

Mgt. Jaime Sayago Heredia

Esmeraldas, _____ de _____, 2018

Autoría

Yo, AÑAPA FALCONES FABRICIO ALEJANDRO, declaro que la presente investigación enmarcada en el actual trabajo de tesis es absolutamente original, auténtica y personal. En virtud que el contenido de esta investigación es de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor y de la PUCESE.

Añapa Falcones Fabricio Alejandro
C.I. 0804133023

Agradecimiento

Mamá, papá, hermanos, a mi querida esposa y a mi hija, a mis amigos, a mis compañeros y profesores, a JRS, y a muchas otras personas que de alguna manera han aportado diferentes elementos a mi vida, elementos que me motivaron a no permitir que el tiempo y las circunstancias cambien ese afán de auto superación y la voluntad por obtener nuevos conocimientos, siempre.

Índice

Autoría	iii
Agradecimiento	iv
Lista de Ilustraciones	vii
Lista de Tablas	viii
Lista de Anexos	viii
Resumen	ix
Abstract	x
Introducción	11
Marco Teórico	15
Bases teóricas	15
Definiciones conceptuales	16
Antecedentes	20
Bases legales	21
Materiales y Método	23
Área de estudio.....	23
Recolección de datos.....	25
Análisis de datos	26
Modelamiento Zonas con amenazas de movimientos en masa	28
Zonas vulnerables a inundaciones	49
Resultados	54
Zonas con amenaza de movimientos en masa (Ver anexo 2).....	54
Zonas vulnerables a inundaciones (Ver anexo 3).....	56
Zonas propuestas para urbanizar (Ver anexo 5).....	57
Discusión	59
Conclusiones	63

Recomendaciones	64
Referencias	65
Anexos	70

Lista de Ilustraciones

<i>Ilustración 1.</i> Principios de la teledetección.....	17
<i>Ilustración 2.</i> Estructura de las imágenes satelitales	18
<i>Ilustración 3.</i> Área de estudio.....	24
<i>Ilustración 4.</i> Modelo digital de elevación en escala de grises	32
<i>Ilustración 5.</i> Dimensiones pixeles del modelo digital de elevación	32
<i>Ilustración 6.</i> Modelo digital de elevación según método de Rupturas Naturales de Jenks	33
<i>Ilustración 7.</i> Litología del área de estudio	34
<i>Ilustración 8.</i> Ponderación según clasificación litológica	37
<i>Ilustración 9.</i> Cobertura vegetal del área de estudio	39
<i>Ilustración 10.</i> Ponderación según clasificación de cobertura vegetal.....	39
<i>Ilustración 11.</i> Pendientes - clases según método Rupturas Naturales de Jenks.....	40
<i>Ilustración 12.</i> Ponderación de pendientes	41
<i>Ilustración 13.</i> Catastro del cantón Esmeraldas en software CAD.....	42
<i>Ilustración 14.</i> Catastro en formato shape	43
<i>Ilustración 15.</i> Fórmula en calculadora ráster	44
<i>Ilustración 16.</i> Susceptibilidad a deslizamientos.....	44
<i>Ilustración 17.</i> Amenaza por movimientos en masa.....	45
<i>Ilustración 18.</i> Amenaza por movimientos de masa - P. 5 de Agosto.....	46
<i>Ilustración 19.</i> Curvas de nivel de la zona en estudio	47
<i>Ilustración 20.</i> Perfil de la zona del Punto 1.....	48
<i>Ilustración 21.</i> Perfil de la zona del Punto 2.....	48
<i>Ilustración 22.</i> Capa “ríos” sin editar.	50
<i>Ilustración 23.</i> Capa “ríos” editada.....	51
<i>Ilustración 24.</i> Aplicación geoprocesamiento Buffer.....	52
<i>Ilustración 25.</i> Aplicación geoprocesamiento Intersección.....	52
<i>Ilustración 26.</i> Elaboración de polígonos de áreas urbanizables.....	53
<i>Ilustración 27.</i> Amenaza de movimientos en masa - Parroquia 5 De Agosto	54
<i>Ilustración 28.</i> Amenaza de movimientos en masa - Parroquia Simón Plata Torres	55
<i>Ilustración 29.</i> Zonas vulnerables a inundaciones.....	57
<i>Ilustración 30.</i> Zonas urbanizables.....	58
<i>Ilustración 31.</i> Tabla de atributos de “Áreas urbanizables”	58

Lista de Tablas

Tabla 1: <i>Relación Litología-Cobertura vegetal-Pendiente</i>	29
Tabla 2: <i>Ponderación litología</i>	35
Tabla 3: <i>Ponderación cobertura y uso de suelo</i>	38
Tabla 4: <i>Ponderación de pendientes</i>	41
Tabla 5: <i>Áreas totales por valor de amenaza</i>	55

Lista de Anexos

Anexo 1. Plano catastral zona de estudio	71
Anexo 2. Mapa de Amenaza de movimientos en masa	73
Anexo 3. Mapa de zonas vulnerables a inundaciones	75
Anexo 4. Mapa de zonas con amenaza de movimientos en masa y zonas vulnerables a inundaciones	77
Anexo 5. Mapa de áreas propuestas para urbanizar.....	79

Resumen

Una zona de riesgo es aquella que implica intrínsecamente una magnitud, sea cual fuere su medida, de severidad y probabilidad de que algún evento adverso acontezca en la muerte de seres humanos. En base a esta concepción, esta investigación gestiona información geoespacial de las parroquias 5 de Agosto y Simón Plata Torres, del cantón Esmeraldas. Dicha información fue obtenida desde diferentes fuentes, y se aplicaron varios procesamientos geoespaciales y modelamientos de información, como la determinación de pendientes y gestión de capas en formato shape y raster, para el modelamiento de amenazas de movimientos en masa o deslizamientos, para la cual se aplicó la metodología recomendada por la Secretaría de Gestión de Riesgo; o como la herramienta buffer o zona de influencia para el modelamiento de zonas vulnerables a inundación. En relación a la amenaza de movimientos en masa, dentro de la parroquia 5 de Agosto, los barrios o sectores más amenazados son: Esmeraldas Libre, Patricio Páez, Barrio Lindo, Boca de Lobo, 20 de Noviembre, Unión y Progreso, Mina de Piedra, La Cocoy, Aire Libre Alto, y 6 de Enero. Y dentro de la parroquia Simón Plata Torres, los barrios o sectores más amenazados son: Los Girasoles, Los Samanes, Santa Julia, San Gabriel, San Jorge, Costa Verde, La Tormenta, Monte Sinaí, Tierra Nuestra, TecniPetrol y Lotización ASTAPE. Mientras que por el lado de la amenaza a inundaciones al aplicar una zona buffer de 30 metros a cada margen del río, las zonas o barrios más vulnerables son: La Concordia, Propicia 1, Cooperativa de Vivienda Río Teaone, 50 Casas, Tiwinza, La Ladrillera, Púmpula, La Floresta, Samanes Bajo, y Monte Sinaí. Según los análisis realizados en base a las inundaciones y los movimientos en masa de tierra, las zonas más aptas para ser urbanizables son las zonas cercanas al Hospital del Sur Carlos Concha Torres, Tolita 1 y 2, San Jorge Bajo, entre otras; Estas zonas suman aproximadamente 221,13 hectáreas. Esta propuesta, sin embargo, no toma en consideración otros aspectos muy importantes como la aptitud de los suelos, las zonas con cobertura vegetal o bosques importantes, entre otras. Se recomienda implementar una plataforma web local con información geográfica actualizada, real y validada. Y que las autoridades municipales apliquen estas tecnologías y metodologías, para la gestión de los predios o lotes, o en procesos de urbanización.

Palabras clave: SIG, Movimientos en masa, Zonas de influencia, Modelamientos geográficos, Litología, Cobertura vegetal, Pendiente de terreno.

Abstract

A risk zone is one that inherently implies a magnitude, whatever its measure, of severity and probability of an adverse event occurring in the death of human beings. Based on this concept, this research manages geospatial information from the parishes of 5 de Agosto and Simón Plata Torres, in the Esmeraldas canton. This information was obtained from different sources, and several geospatial processes and information modelling were applied, such as slope determination and layer management in shape and raster format, for the modelling of mass movement or landslide threats, for which the methodology recommended by the Secretariat of Risk Management was applied; or as the buffer tool or zone of influence for the modelling of sensitive areas to flooding. In relation to the threat of mass movements, within the parish of 5 de Agosto, the neighborhoods or sectors most threatened are: Esmeraldas Libre, Patricio Páez, Barrio Lindo, Boca de Lobo, La 20 de Noviembre, Unión y Progreso, Mina de Piedra, La Cocoy, Aire Libre, and 6 de Enero. And within the Simón Plata Torres parish, the most threatened neighborhoods or sectors are: Los Girasoles, Los Samanes, Santa Julia, San Gabriel, San Jorge, Costa Verde, La Tormenta, Monte Sinaí, Tierra Nuestra, TecniPetrol and Lotización ASTAPE. While on the side of the threat of flooding by applying a buffer zone of 30 meters to each bank of the river, the most vulnerable areas or neighborhoods are: La Concordia, Propicia 1, Cooperativa de Vivienda Río Teaone, 50 Casas, Tiwinza, La Ladrillera, Púmpula, La Floresta, Samanes Bajo, and Monte Sinaí. According to the analyses carried out based on flooding and land mass movements, the most suitable areas for development are those near the Hospital del Sur Carlos Concha Torres, Tolita 1 and Tolita 2, San Jorge Bajo, among others; these areas total approximately 221.13 hectares. This proposal, however, does not take into account other very important aspects such as the suitability of soils, areas with plant cover or important forests, among others. It is recommended to implement a local web platform with updated, real and validated geographic information. And that the municipal authorities apply these technologies and methodologies, for the management of land or lots, or in urbanization processes.

Keywords: GIS, Mass movements, Areas of influence, Geographic modelling, Lithology, Vegetation cover, Slope of land.

Introducción

Presentación del tema de investigación.

La magnitud de una amenaza, y de la probabilidad de algún efecto adverso en relación a la vida, la salud, la propiedad o el ambiente, es considerado como riesgo. (IUGS, 1997). Es importante señalar que cuando se involucran aspectos como el riesgo de deslizamiento, la probabilidad espacio temporal y la vulnerabilidad de las personas, el riesgo está ligado a la pérdida de vidas humanas. (Australian Geomechanics Society, 2007).

Por lo tanto, resulta lógico expresar que una zona de riesgo es aquella que implica intrínsecamente una magnitud de amenaza y vulnerabilidad a que algún evento adverso acontezca en la muerte de seres humanos, pérdidas materiales y la disminución de ecosistemas y hábitats, lo que también representa un factor perjudicial para especies de flora y fauna.

Esta vulnerabilidad a su vez mantiene una estrecha relación entre la exposición al riesgo y el cociente resultante de una susceptibilidad y la resiliencia de un sujeto, objeto o sistema (CIIFEN, 2017).

En base a estas concepciones, el presente trabajo de investigación se enmarca en gestionar información geoespacial de la zona comprendida en las parroquias 5 de Agosto y Simón Plata Torres, del cantón Esmeraldas. Esta información geoespacial constituye un elemento muy importante para realizar el modelamiento de posibles procesos como los deslizamientos de tierra; con lo cual se podrá determinar qué zonas presentan mayor riesgo a movimientos en masa y a inundaciones.

Una vez conocidas esas zonas, se propondrán áreas que pueden ser urbanizables al presentar menor riesgo. El modelamiento de los procesos será realizado mediante la aplicación de diferentes sistemas de información geográfica de licencia libre.

Planteamiento del problema

Dentro del cantón Esmeraldas, específicamente en la cabecera cantonal, se ha presentado a lo largo de varios años diversos eventos negativos que ocasionaron pérdidas materiales y en algunos casos hasta pérdidas humanas, debido a aludes de tierra en las zonas altas y a inundaciones en las zonas cercanas a la ribera de los ríos.

Son muchos los eventos suscitados debido a deslizamientos, se puede nombrar el ocurrido en el año 2005, en el que existieron 35 personas damnificadas y 7 viviendas fueron afectadas; y debido a inundaciones se puede nombrar el evento ocurrido en el año 2008, en el que resultaron afectadas 27 personas y 19 viviendas, dos de las cuales fueron totalmente destruidas. (Universidad Técnica del Norte, 2013)

Esto se debe, en gran medida, a la ausencia de normativas locales que permitan controlar los asentamientos humanos, y que además promuevan el desarrollo urbanístico técnicamente apropiado, que asegure condiciones favorables para el crecimiento de la población, y para la ampliación de la cobertura de servicios básicos, dos factores importantes que a futuro comprometan un correcto desarrollo social, cultural, económico y ambiental.

En los procesos de urbanización, el ambiente juega un papel crucial, pues de él dependemos y es necesario prevenir el deterioro del mismo a través del uso racional de los recursos naturales. En todo proceso urbanístico existe un impacto al ambiente y por lo tanto, se deben proponer modelos de crecimiento urbano que contemplen no sólo el desarrollo de infraestructuras y viviendas, si no que se integren a éstos la necesidad y obligación de conservar áreas verdes, parques o zonas ecológicas con capacidad de mantener especies silvestres en buen estado, lo que redundará en la salud y bienestar de la población humana.

Gran parte del crecimiento demográfico se producirá en ciudades pequeñas y medianas de los países en desarrollo. La migración rural-urbana se puede duplicar cada cinco a siete años en asentamientos de bajos ingresos, por lo tanto, sin grandes cambios en la gestión de los riesgos de desastres y los procesos de urbanización, el riesgo para los residentes de la ciudad aumentará en el futuro a medida que aumente la población. (Smith & Petley, 2009)

En el cantón Esmeraldas la situación no es distinta, según datos de su Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2012 – 2022 (2012), en el año 2010 la población que residía en la parroquia Esmeraldas representaba el 85,42% de los 189.504 habitantes, y la parroquia Vuelta Larga apenas el 1,58%.

Sin embargo, la proyección para el año 2022 de la población en la parroquia Esmeraldas indica que será de 247.914 habitantes, aquí notamos que para este cálculo se considera a las dos parroquias objeto de este estudio, como parte de la parroquia Esmeraldas. Mientras que en otras parroquias rurales como Vuelta Larga la población se proyecta en apenas 4.590, lo que indica que el crecimiento en ambas parroquias se mantendrá aproximadamente igual, y esto sin lugar a dudas es preocupante, debido a que la capacidad de carga de las zonas ya urbanizadas evidentemente alcanzará su capacidad de carga.

Este problema de los modelos de crecimiento poblacional en el cantón, evidencia una falta de planificación, como bien lo indica el PDOT del cantón Esmeraldas, un problema generalizado es la migración de habitantes desde el campo hacia la ciudad, lo que ha provocado que la población urbana aumente en un 67.62%. Acarreando problemas ambientales como la contaminación por desechos sólidos debido a la falta de gestión de los desechos por la recolección de los mismos en zonas de difícil acceso, la disminución de zonas verdes importantes para la ciudad y los habitantes, o la falta de servicios básicos tan importantes como el agua potable, que en ocasiones es llevada a través de sistemas precarios y mal diseñados, que terminan provocando el desperdicio de este recurso por las constante averías en las redes de agua y la posterior filtración de la misma.

Lo cual no solo representa un problema ambiental, si no que al final se traduce en un problema socio económico también, porque se emplean más recursos financieros y humanos en la solución de estos inconvenientes, dejando de lado la posibilidad de atender otros sectores también necesitados.

Justificación del estudio

La principal razón de este estudio radica en el anhelo de vivir en ciudades inteligentes, es decir, ciudades que tengan la capacidad de amortiguar y disminuir los impactos antrópicos sin frenar el desarrollo social, cultural, económico y ambiental.

En la ciudad de Esmeraldas se han presentado problemas de diversa índole en relación con los procesos urbanísticos, es por ello, por lo que es necesario mirar hacia otras zonas que presenten las capacidades adecuadas y suficientes para permitir la expansión de la zona urbana.

Además, es importante que se tomen iniciativas de investigación en el campo de los sistemas de información geográfica, aplicados a la gestión ambiental, a la gestión urbanística o a la geo ecología, para promover el desarrollo y el aprovechamiento de esta tecnología en nuestra localidad.

Por todo lo mencionado anteriormente, es importante empezar a planificar el crecimiento poblacional y sus consecuentes asentamientos humanos en parroquias rurales cercanas a la cabecera cantonal; de esta manera, se puede propiciar la creación de zonas diferentes de desarrollo económico a lo largo de todo el cantón.

Para ello, es necesario identificar qué zonas están más aptas para ser urbanizadas desde el punto de vista de la gestión del riesgo por movimientos en masa y por inundaciones. Ya que si se planifican estos procesos de urbanización, se optimizarán recursos económicos y recursos humanos, priorizando a su vez el mantenimiento de zonas ecológicas que permitan un desarrollo integral de toda la población.

Objetivos

Objetivo general:

- Determinar las zonas de riesgo en la zona comprendida entre las parroquias Esmeraldas y Vuelta Larga, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), con la finalidad de proponer áreas urbanizables.

Objetivos específicos:

- Identificar las zonas con mayor amenaza de movimientos en masa
- Identificar las zonas con mayor riesgo a inundaciones.
- Proponer zonas aptas para la expansión urbana.

Marco Teórico

Bases teóricas

El constante y rápido crecimiento poblacional mundial, según World Bank (2016a), llegó en 2013 a 7.124 millones de habitantes. Por otro lado, en nuestro país la población superó los 16,1 millones hasta el año 2015. (World Bank, 2016b)

Pese a que la tasa anual de crecimiento poblacional ha disminuido en comparación a otras décadas pasadas, y aunque este crecimiento no sea exponencial debido a las reducciones de dicho crecimiento por competencia de recursos ambientales (Accinelli & Brida, 2006); la expansión urbana representa un importante cambio en los usos del suelo y constante presión sobre el espacio litoral (Barragán & de Andrés, 2016).

Los ecosistemas marino-costeros son de gran importancia desde la perspectiva ambiental y socioeconómica. A estos ecosistemas se vinculan muchos bienes y servicios ambientales, lo cual atrae a una mayor cantidad de población y en consecuencia se ejerce mucha presión sobre la salud de tales ecosistemas. (Scherer, Costa, Boski, Azeiteiroe, & Dias, 2014)

Por lo tanto, si se quiere conservar cualquier ecosistema es imprescindible que se ordenen y controlen las actividades de expansión urbana, con lo cual se disminuiría el impacto ejercido sobre los recursos naturales.

Por otro lado, el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Esmeraldas 2015-2025 (2015), menciona que las inundaciones, los deslizamientos y la variabilidad climática son criterios para la determinación de vulnerabilidad. Desde ese

punto, consideran que las inundaciones son procesos naturales ligados a desbordamientos e inundaciones producto de fuertes precipitaciones; mientras que los deslizamientos se deben a la pérdida de estabilidad en relieves muy pronunciados, en los que existen factores determinantes como pendiente, suelos, fisonomía de la cobertura vegetal y mecanismos detonantes como lluvias extremas y sobrecarga en las laderas.

Definiciones conceptuales

Sistemas de Información Geográfica

Son sistemas computacionales o informáticos que permiten visualizar y gestionar datos geográficos y alfanuméricos, por capas con distintos formatos, para obtener información útil en la elaboración de productos cartográficos, y en la resolución de problemas complejos del mundo real. (Piumetto, 2007)

En la actualidad, los SIG son una tecnología avanzada de computación que facilita realizar una variedad de exámenes a grandes áreas, con gran cantidad de datos y a bajo costo. Esta gran cantidad de datos es posible ya que esencialmente un SIG puede asignar muchos atributos de manera ordenada, a casillas que representan un área determinada sobre la tierra. (Organizations of American States, s.f.)

Teledetección

Se puede considerar a la teledetección como un área que trabaja las técnicas y todas características empleadas en el procesamiento de la información obtenida mediante los sensores remotos. El término empezó a usarse a principios de los años 60, y se desarrolló en gran medida debido al uso en estrategias militares. (Ciampagna, 2007)

En la siguiente ilustración se puede observar el principio de la teledetección.

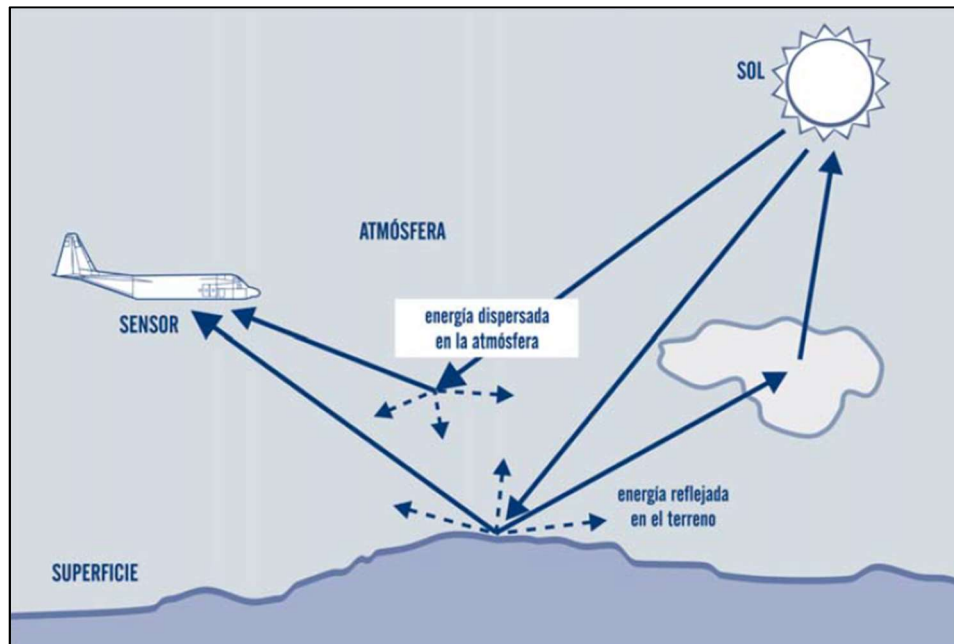


Ilustración 1. Principios de la teledetección

Sensores remotos

Según Ciampagna (2007) los sensores remotos son aquellos instrumentos y técnicas especiales que tienen sensibilidad a radiación reflejada o emitida por objetos distantes, capturan datos de objetos con los que no se está en relación física.

Los sensores remotos posibilitan la determinación de varios cambios en el suelo, como por ejemplo el cambio de los usos del suelo y la cobertura de la tierra con el pasar de los años, lo que permite cuantificar cuáles de esos cambios han sido relevantes. En la actualidad los sensores remotos son usados en el estudio de aspectos socioeconómicos y ambientales. (Jacquin, Misakova, & Gay, 2008)

Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales, son muy usadas en evaluaciones de procesos de crecimiento urbano, tanto a pequeña escala como en pequeñas comunidades o pueblos, o a gran escala como en estudios de ciudades muy grandes. (Alberti, Weeks, & Coe, 2004)

Están compuestas por más de una banda espectral o imagen, lo que les confiere una tercera dimensión (Ver Ilustración 2). (Ciampagna, 2007)

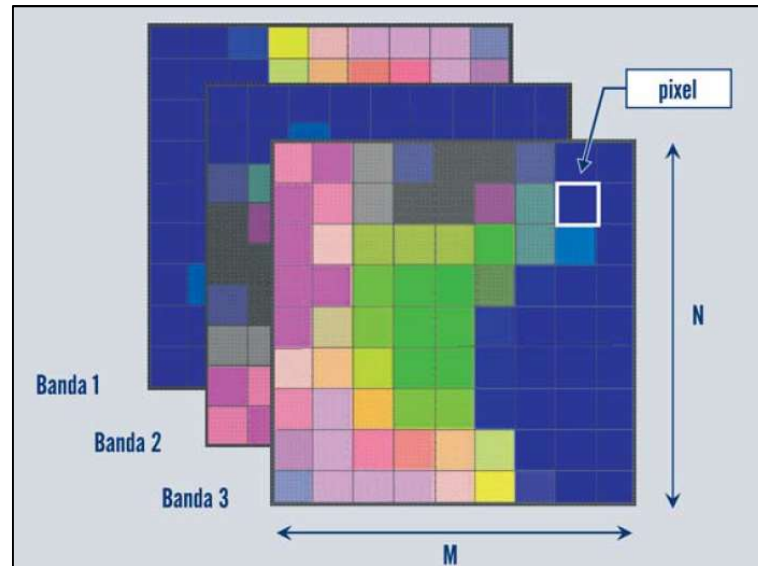


Ilustración 2. Estructura de las imágenes satelitales

Urbanización y Procesos urbanísticos.

Hablar de urbanización implica la producción de un acumulado de soportes materiales ineludibles para la aglomeración de población y sus actividades, es un proceso inminentemente complejo. (Pírez, 2013)

Por otro lado, los procesos urbanísticos presentan desafíos cada vez más complejos en el campo ambiental, social, económico y político; y, a pesar de que existen variadas condiciones y niveles, los problemas acarreados para las ciudades en crecimiento poseen mucha aproximación, se puede nombrar los cambios en la hidrología local, pérdida de tierras agrícolas productivas y pérdida de hábitats naturales. (Water Science and Technology Library, 2016)

Crecimiento poblacional

Además, el crecimiento poblacional agrava aún más los conflictos por uso del suelo, la degradación ambiental y la disputa por los escasos recursos existentes (Chi & Ventura, 2011).

Planificación urbana

Según Ornés (2009) a mediados del siglo XIX, la planificación urbana era calificada como una plataforma con reglas y limitaciones para las prácticas en infraestructura y equipamiento de una ciudad, esto es respuesta a ciertas características de las ciudades de aquella época como la insalubridad y la aglomeración poblacional.

Sin embargo, a principios del siglo XX la planificación urbana evolucionó a tal punto que su rol buscaba modelos más estructurados, y planes urbanos con una visión integral (Sánchez de Madariaga, 2008) citado por Ornés (2009).

Zona de riesgo

Es la extensión de terreno o superficie con probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2009). Estas zonas de riesgo posteriormente son divididas en áreas o dominios, y clasificadas según los grados de susceptibilidad, riesgo o riesgo real o potencial; en un proceso denominado zonificación. (Australian Geomechanics Society, 2007)

Antecedentes

El estudio de las dinámicas poblacionales y los procesos urbanísticos se ha venido realizando desde hace más de 70 años a nivel mundial. A finales de la década de los años 30, específicamente en el año 1939 el economista Homer Hoyt realizó un estudio (*The structure and growth of residential neighborhoods in American cities*) en los Estados Unidos de América.

En Europa, Van den Berg, Drewett, Klaasen, Rossi y Vijverberg (1982), realizaron un estudio titulado *Urban Europe: a study of growth and decline*; este estudio, a pesar de ser considerado algo empírico, representó en aquellos años los primeros esbozos de los elementos de la teoría del desarrollo urbano en dicho continente.

En América Latina, Lozano (2009) propuso una metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos de las edificaciones en centros urbanos. En este artículo, Lozano identifica dos escenarios para el análisis de la vulnerabilidad ante inundaciones; el primero para edificaciones en general, y el segundo para los servicios de emergencia y lugares de concentración pública.

Dentro del primer escenario expone dos metodologías, una cualitativa y una heurística. La primera, en la que se obtienen niveles de vulnerabilidad y riesgo al mismo tiempo, identificando lotes con indicadores críticos de las variables elegidas para el posterior análisis. Las variables pueden ser: materiales de construcción, estado de conservación, entre otros. En la metodología heurística, combina lo cualitativo y lo cuantitativo. Puesto que elige las variables de vulnerabilidad, realiza una ponderación de las incidencias ante inundaciones, aplica un sistema de información geográfica y establece rangos para definir los niveles de vulnerabilidad. Para el segundo escenario, toma en consideración las características físicas y organizativas de los establecimientos.

Más recientemente, Cifuentes y Londoño (2010) realizaron un estudio en la ciudad de Manizales – Colombia. En este estudio se analizó el crecimiento urbano de dicha ciudad, y se identificaron a los factores “vías y parques” como determinantes positivos para el crecimiento de la ciudad, utilizando mapas en Sistemas de Información Geográfica (SIG) con información asociada.

En el Ecuador, también se han realizado estudios acerca del tema en cuestión, se puede nombrar por ejemplo el *Estudio de la influencia del crecimiento urbano de la ciudad de Loja en los caudales de crecida en la cuenca del río Zamora* (Oñate), en el que se usaron fotografías aéreas para determinar el crecimiento urbano y la variación del uso del suelo, a través de la aplicación de SIG.

A nivel local existe una *Propuesta de ordenamiento territorial de la provincia de Esmeraldas en base a la zonificación ecológica-económica* realizada por Villacreses y Ponce (2012) en la que se emplearon técnicas de procesamiento de información cartográfica para su desarrollo.

Bases legales

Desde la constitución de nuestro país hasta los planes de desarrollo y ordenamiento territorial de los diferentes gobiernos seccionales (inclusive parroquiales), se coloca en primer plano el hecho de que todas las personas tienen el derecho a vivir en zonas que permitan el desarrollo integral de las mismas. Como en el Art. 14 de la Constitución que se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado; El Art. 30 que afirma el derecho de las personas a un hábitat seguro y saludable, y a una vivienda adecuada y digna; o como en el Art. 31 que declara el derecho de las personas a disfrutar plenamente de la ciudad y de sus espacios públicos. Por lo tanto, planificar los procesos urbanísticos es de gran importancia para empezar con dichas condiciones.

Además, la Constitución del Ecuador, en su Art. 238 expresa la capacidad que tiene cada uno de los gobiernos autónomos descentralizados (GADs) para ser independientes financiera, administrativa y políticamente. A su vez, el Art. 239 especifica que los GADs definirán mecanismos y políticas que compensen los desequilibrios territoriales. Desde aquí ya nuestra carta magna nos permite planificar independientemente y de manera obligatoria como lo indica el Art. 241.

Por otro lado, se encuentra el Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD), que en su Art. 295 indica que todos los GADs planificarán estratégicamente su desarrollo con una visión a largo plazo, considerando sus

características locales particulares y que además debe haber una participación protagónica de la ciudadanía.

En el Art. 296 del COOTAD se habla sobre el Ordenamiento Territorial, un tema de vital importancia en la actualidad, y señala que el ordenamiento territorial comprende políticas de los GADs que permiten su desarrollo territorial, que parte de lo local a lo regional, basado en la proyección de políticas sociales, económicas y ambientales. Y en el Art. 297 exhorta a que dicho ordenamiento debe complementar la planificación económica, social y ambiental con dimensión territorial, debe racionalizar las intervenciones sobre el territorio y orientar su desarrollo y aprovechamiento sostenible.

En el Código Orgánico del Ambiente en los Art. 26, 27 y 28 aclara que una de las Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales, Metropolitanos y Municipales, y los Parroquiales Rurales deben incorporar criterios de cambio climático en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial y demás instrumentos de planificación dentro del marco de sus competencias, respectivamente.

Así, este mismo cuerpo legal exhorta en su Art. 152 que se reconoce como interés público el establecimiento, conservación, manejo e incremento de árboles en las zonas urbanas, priorizando especies nativas de las zonas territoriales, con el objetivo de promover el desarrollo urbano sostenible. De igual forma, en el Art. 153 manifiesta que los GAD Municipales o Metropolitanos deberán fomentar la participación ciudadana y potenciar las actividades de organizaciones públicas y privadas relacionadas con la gestión, conservación, valoración y protección del arbolado urbano.

Además, el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Esmeraldas 2012-2022 establece dos políticas muy importantes. La primera, en su Sistema de Asentamientos Humanos, Movilidad y Conectividad; establece impulsar la ocupación racional, intensiva, equilibrada y policéntrica de la ciudad de Esmeraldas. Y la segunda, en su Sistema Ambiental, promover la gestión integral de los recursos aire y suelo; impulsar la gestión ambiental con una amplia participación ciudadana para el desarrollo sustentable local; y reducir la vulnerabilidad del cantón ante la presencia de riesgos naturales y antrópicos.

Materiales y Método

Área de estudio

La parroquia urbana Esmeraldas está ubicada al noreste de la provincia Esmeraldas, y al noreste del cantón que lleva el mismo nombre. Es la parroquia con mayor número de habitantes de todas las parroquias del cantón Esmeraldas.

La parroquia 5 de Agosto limita al norte con la parroquia Esmeraldas, está comprendida desde el sector conocido como La Barraca hasta el sector La Propicia 4; por otro lado, la parroquia Simón Plata Torres limita al norte con la parroquia 5 de Agosto y se extiende hasta el sector Casa Bonita.

Ambas parroquias se encuentran influenciadas por el río Teaone, una en mayor medida que otra debido a que a la parroquia Simón Plata Torres el cauce del río la atraviesa de sur a norte, mientras que en la parroquia 5 de Agosto las aguas del Teaone solo fluyen en el límite sur de la misma.

La parroquia 5 de Agosto posee un área aproximada de 1.242,67 hectáreas, mientras que la parroquia Simón Plata Torres posee un área aproximada de 1.261,59 hectáreas. Obteniendo un área total entre ambas, de 2.504,26 hectáreas.

Debido a que este estudio se centra en dos eventos adversos, los deslizamientos de tierra o movimientos en masa y las inundaciones, el área de estudio no es la misma para ambos eventos. Puesto que, mientras el área de estudio para el análisis de los movimientos en masa se relaciona más a poblaciones cercanas a elevaciones o pendientes muy elevadas, el área de estudio para el análisis de las inundaciones se relaciona más a las poblaciones cercanas a la cuenca media y baja del río Teaone.

Sin embargo, de manera general se puede nombrar a las siguientes localidades incluidas en este estudio:

- Propicia 1
- Codesa
- 15 de Marzo
- San José
- Lucha de los Pobres

- El Gatazo
- La Primavera
- Propicia 4
- Julio Estupiñán
- La Victoria
- Cooperativa de Vivienda Río Teaone
- 50 Casas
- Tolita 1
- Tolita 2
- Las Acacias
- Valle San Rafael, entre otras.

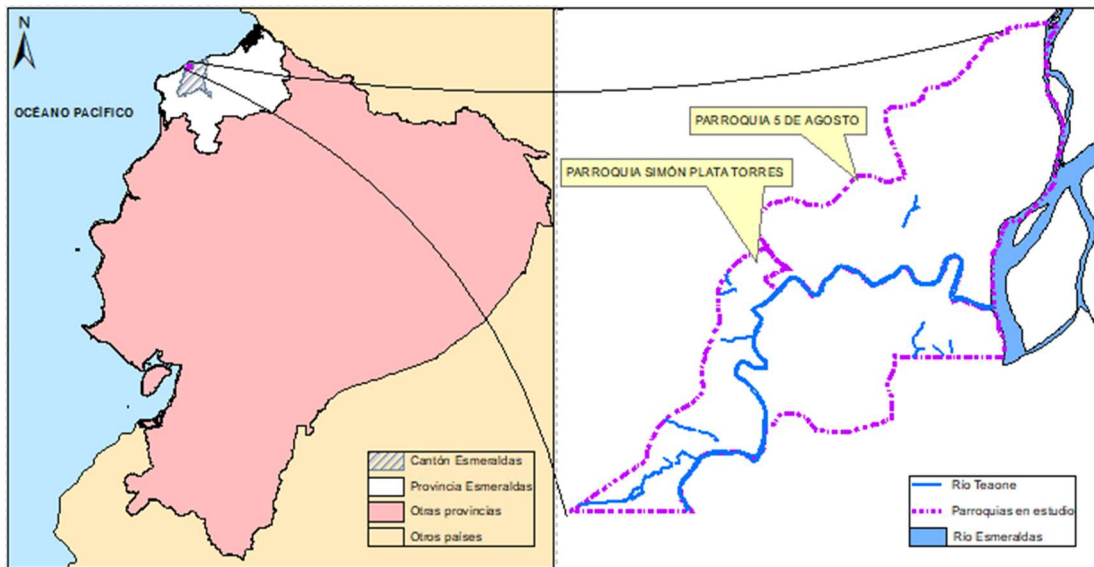


Ilustración 3. Área de estudio

Además, en el anexo 1 se muestra el plano catastral del área de estudio.

Recolección de datos

La recolección de los datos se realizó a través de varias plataformas digitales de información geográfica, geoespacial y geoestadística. Dichas plataformas son de carácter público, es decir que permiten la descarga de información con licencia libre. Podemos nombrar:

- La USGS (U.S. Geological Survey), o Servicio Geológico de los Estados Unidos.
- Earthdata (de la National Aeronautics and Space Administration) NASA, de los Estados Unidos.
- El Sistema Nacional de Información (SNI Ecuador).
- Geoportal del Instituto Geográfico Militar (IGM Ecuador).

Además, se utilizó información de plataformas nacionales e internacionales, y una vez descargada la información se realizó el cruce de la misma para constatar que toda la información sea similar. De esta manera se disminuye el factor de error en las capas utilizadas.

Se obtuvo el archivo CAD con extensión .dwg sobre el catastro del cantón Esmeraldas, directamente del Departamento de Catastro del Municipio de dicha ciudad.

El cruce de la información se realizó usando la caja de herramientas de geoprocésamiento, herramientas de análisis 3D, herramientas de conversión, herramientas de gestión de datos y herramientas de análisis espacial, del sistema de información geográfica.

Se realizaron varias visitas a la zona de estudio, para constatar aquellas zonas pobladas que se encuentran cerca de la ribera del río Teaone y cerca a laderas con pendientes muy pronunciadas, se registraron las coordenadas de dichas zonas y se compararon con la información obtenida anteriormente.

Análisis de datos

Una vez recolectada y verificada toda la información necesaria para los diferentes geoprocесamientos y modelamientos de información, se procedió a aplicar dos metodologías principales; la primera relacionada al modelamiento de las zonas con amenazas de movimientos en masa, y la segunda concerniente al análisis de la zona de inundación por crecidas del río Teaone, denominada Buffer o zona de influencia.

Según los requerimientos de este estudio, se realizaron varias etapas para el análisis y validación de la información, con el propósito de organizar los diferentes procesos para la consecución de los objetivos planteados. Algo importante a mencionar es el apoyo enorme que brindan los softwares que permiten la edición y gestión de información en formato CAD, como por ejemplo AutoCAD, facilitando el paso de información entre sistemas de información geográfica y sistemas de diseño asistido por computadoras.

Además, para contrastar la información obtenida en el modelamiento de las amenazas de movimientos en masa se elaboró también una capa de curvas de nivel, y junto con la capa de cobertura vegetal y de litología se procedió a la verificación para el control de los falsos positivos o negativos.

Se tomaron al azar varios puntos con niveles de amenaza variados y se relacionaron esas ponderaciones obtenidas mediante el sistema de información geográfica, con un análisis manual entre las capas curvas de nivel, que nos proporciona alturas, la capa de cobertura vegetal, que nos proporciona información de las formaciones vegetales, y la capa litología que nos brinda información de los tipos de roca. Este análisis se realizó empleando la Tabla 1.

Siendo así, tenemos lo siguiente:

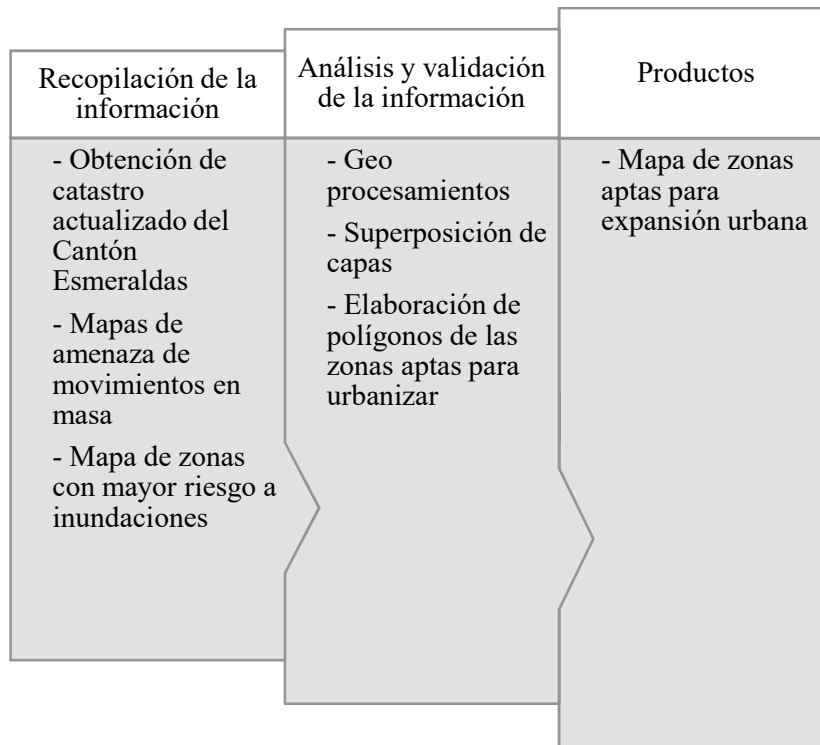
- Objetivo 1. – Identificar las zonas con mayor amenaza de movimientos en masa

Recopilación de la información	Análisis y validación de la información	Productos
<ul style="list-style-type: none"> - Obtención de catastro actualizado del Cantón Esmeraldas - Obtención de archivo DEM de la zona de estudio - Obtención de archivos shape de litología - Obtención de archivos shape de profundidad del suelo - Obtención de archivos shape de cobertura vegetal - Generación de pendientes y curvas de nivel 	<ul style="list-style-type: none"> - Conversión archivo CAD a shape - Edición de capas shape - Generación de pendientes desde archivo DEM - Herramientas de geoprocésamiento - Map Álgebra - Reclasificación raster - Superposición de capas - Validación y descarte de falsos positivos o negativos 	<ul style="list-style-type: none"> - Mapa de susceptibilidad - Mapa de amenaza de movimientos en masa

- Objetivo 2. – Identificar las zonas con mayor riesgo a inundaciones.

Recopilación de la información	Análisis y validación de la información	Productos
<ul style="list-style-type: none"> - Obtención de catastro actualizado del Cantón Esmeraldas - Obtención de archivo shape de ríos 	<ul style="list-style-type: none"> - Conversión archivo CAD a shape - Edición de capas shape - Herramientas de geoprocésamiento - Superposición de capas 	<ul style="list-style-type: none"> - Mapa de zonas con mayor riesgo a inundaciones

- Objetivo 3. – Proponer zonas aptas para la expansión urbana.



Modelamiento Zonas con amenazas de movimientos en masa

En el modelamiento de las zonas con amenazas de movimiento en masa se aplicaron diversas herramientas y de la misma manera se usaron varias capas de información geográfica. Todo inició desde un modelo digital de elevación (DEM), que fue procesado, y al cual se le aplicó la herramienta calculadora ráster. Este procesamiento se realizó aplicando parte de la metodología recomendada por la Secretaría de Gestión de Riesgo de Ecuador.

Dicha metodología propone asignar pesos o ponderar a diferentes factores involucrados en el modelamiento de esta información, propone realizar el procesamiento con información litológica, suelo, cobertura vegetal y pendiente, como se muestra en la siguiente fórmula:

Valor píxel para susceptibilidad = (litología*0.20) + (suelo*0.10) + (cobertura vegetal*0.30) + (pendiente*0.4)

Sin embargo, debido a que la información es escasa, se aplicó otra asignación de pesos o ponderación de acuerdo con la realidad de la zona en estudio, la información faltante fue suelos. La fórmula aplicada para este modelamiento fue:

Valor píxel para susceptibilidad = (litología*0.30) + (cobertura vegetal*0.30) + (pendiente*0.4)

Como se puede observar en la segunda fórmula, el peso de 0.10 correspondiente a suelo fue sumado al peso correspondiente a litología, la misma pasó de 0.20 a 0.30. Esto debido a que existe una relación inversamente proporcional entre la resistencia de las rocas y la estabilidad de los taludes o laderas.

Es decir, que mientras más resistente sea una roca va a disminuir más la inestabilidad del talud, por lo tanto, aunque existan pendientes muy pronunciadas, no siempre representa un terreno muy inestable.

En la siguiente tabla se muestra esta relación entre la litología, la cobertura vegetal y la pendiente.

Tabla 1: *Relación Litología-Cobertura vegetal-Pendiente*

LITOLOGÍA	COBERTURA VEGETAL	PENDIENTE
LITOLOGÍA	Si existe litología de peso bajo, como rocas ultrabásicas es muy posible que la cobertura vegetal sea mínima, debido a las	Si existe litología de peso bajo, como rocas ultrabásicas, calizas, granitos, entre otros, y una pendiente muy

		<p>características de las rocas ultrabásicas como la permeabilidad y porosidad, entre otras. Por lo tanto, en este escenario la baja cantidad de cobertura vegetal no significa que el suelo es inestable o muy inestable.</p>	<p>elevada, es poco probable que el suelo sea inestable, debido a las características de resistencia a la erosión, plasticidad, entre otros, de las rocas.</p>
COBERTURA VEGETAL	<p>Si existe litología de peso alto, como las arcillas, arenas, lutitas, es muy probable que exista una cobertura vegetal también elevada, debido a las características de estos suelos, que permiten el crecimiento de flora. En este caso, existe una compensación a la inestabilidad de las arcillas, por ejemplo, con la existencia de cobertura vegetal.</p>		<p>Si la pendiente es muy elevada, es muy probable que la cobertura vegetal sea escasa, por las condiciones físicas de la zona. En este caso, si el suelo no es una roca resistente, sino alguna arcilla, la inestabilidad de la zona se amplifica; tanto por la litología, por la pendiente y por la escasa vegetación.</p>
PENDIENTE	<p>Si se encuentra una pendiente muy elevada y una litología con peso también alto, como las pegmatitas o</p>	<p>Si la pendiente es baja, y la cobertura vegetal es muy alta no necesariamente se trata de una zona estable, puesto que</p>	

limolitas, la esa pendiente baja
inestabilidad de la puede haberse
zona aumenta originado por un
considerablemente. deslizamiento de
laderas ocurrido
anteriormente, por lo
cual ver una
pendiente baja y con
vegetación no
significa estabilidad
en el suelo.

A continuación se detallan cada uno de los subprocesos aplicados en el estudio:

- Archivo DEM

El modelo digital de elevación fue obtenido de la página web del USGS, La ilustración 4 muestra la simbología primitiva con la que se obtienen estos archivos. En este podemos observar una simbología en escala de grises, donde el color negro indica las zonas más bajas y a medida que aumenta la altura del terreno se torna a tonos más claros hasta llegar a blanco.

El valor más bajo del eje Z es de 9,44 m y el más alto es de 367,40 m.

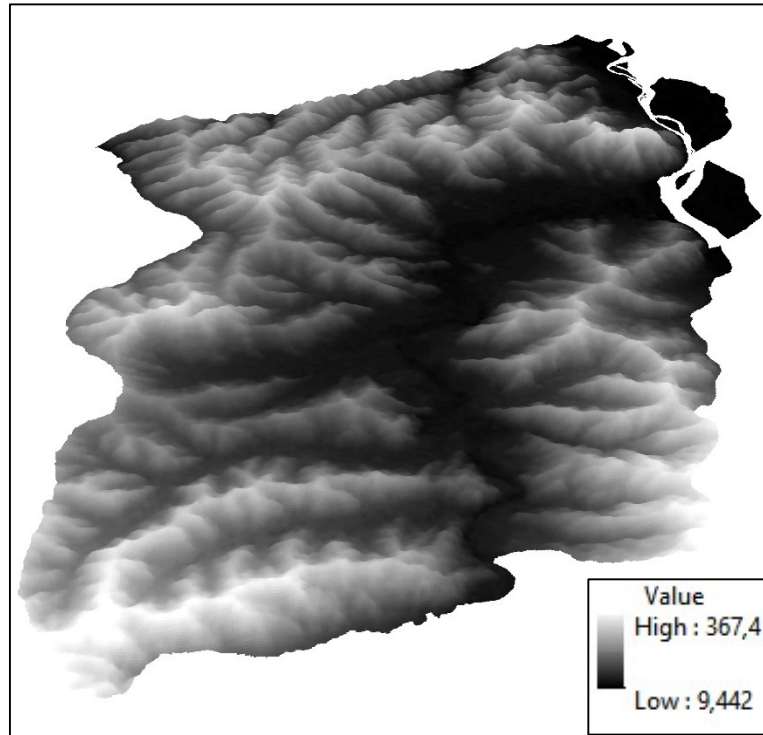


Ilustración 4. Modelo digital de elevación en escala de grises

Este modelo de elevación presenta dimensiones X e Y de 12,5m * 12,5m por cada píxel. Esto quiere decir que cada píxel abarca un área total de 156.25 m² como se muestra en la ilustración 5.

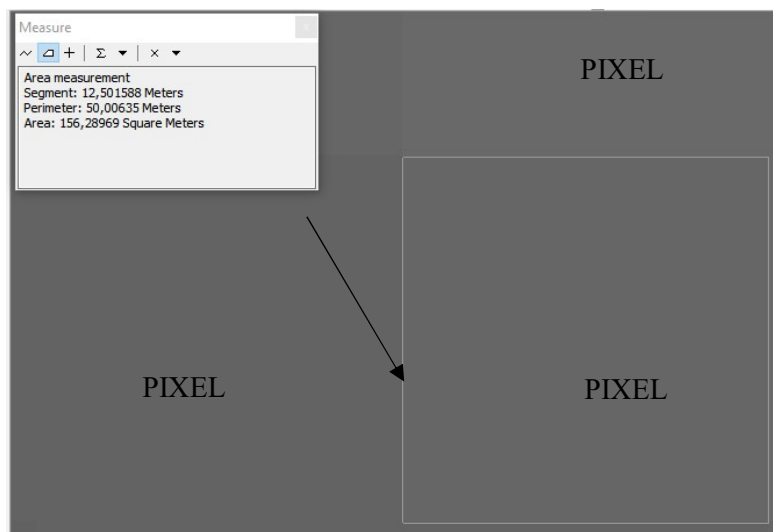


Ilustración 5. Dimensiones pixeles del modelo digital de elevación

En la ilustración 6 se realizó una modificación de la simbología primitiva del modelo digital de elevación, usando la metodología de clasificación de datos Rupturas Naturales de Jenks, en la que según De Smith, Goodchild & Longley (2018) las agrupaciones y cortes de clases se establecen de acuerdo a las diferencias naturales considerables entre los valores de los datos. Es decir que los cortes se realizan justo en donde se producen cambios notorios en los valores de los datos, donde se maximizan esos cambios.

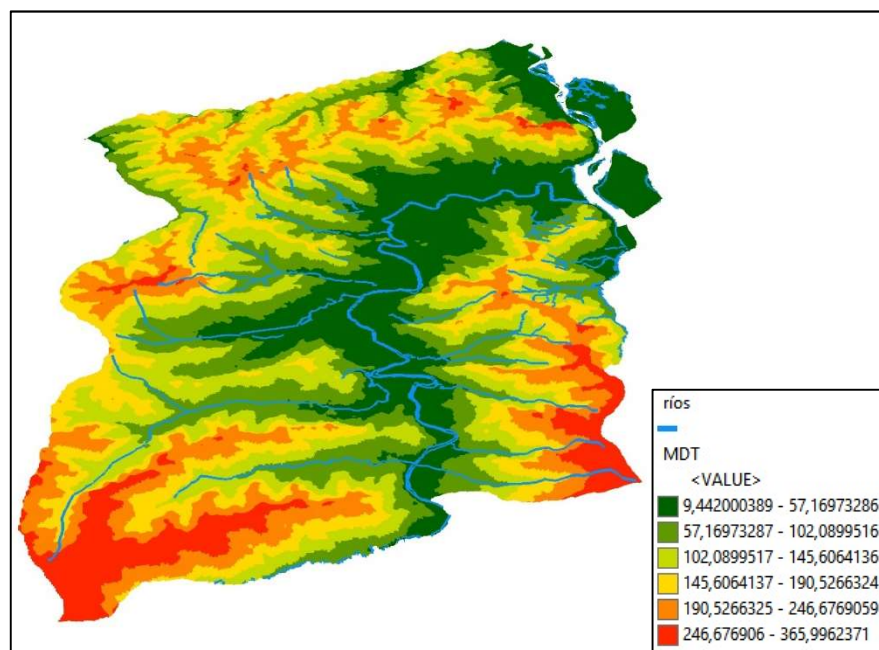


Ilustración 6. Modelo digital de elevación según método de Rupturas Naturales de Jenks

En una vista realizada en 3d, y cruzando la capa de ríos del cantón Esmeraldas se logra observar seis colores diferentes que van desde verde oscuro hasta rojo, zonas menos altas a zonas muy altas, respectivamente. El método de Rupturas Naturales de Jenks generó automáticamente seis categorías en base a los datos y sus cambios naturales correspondientes al área que abarca el modelo digital de elevación.

Los valores en el recuadro ubicado en la esquina inferior derecha de la ilustración 6 están expresados en metros lineales y empiezan con un intervalo de 9,44200 m hasta los 57,1697 m, y termina con un intervalo de alturas de 246,6769 m hasta los 365,9962 m.

- Archivo “shape” de litología

La litología es una parte de la geología que estudia las rocas. Cada formación geológica posee una susceptibilidad específica a los deslizamientos, y el comportamiento geotécnico de un conjunto de rocas de un talud, será diferente al de cada uno de los materiales que la componen por separado (Suárez, 1998).

La ilustración 7 muestra las diferentes formaciones litológicas dentro de las parroquias 5 de Agosto y Simón Plata Torres. De acuerdo a esa clasificación litológica, se procedió a categorizar las diferentes formaciones otorgándole un valor numérico o peso a cada uno. Esta categorización responde a las características que posee cada formación litológica.

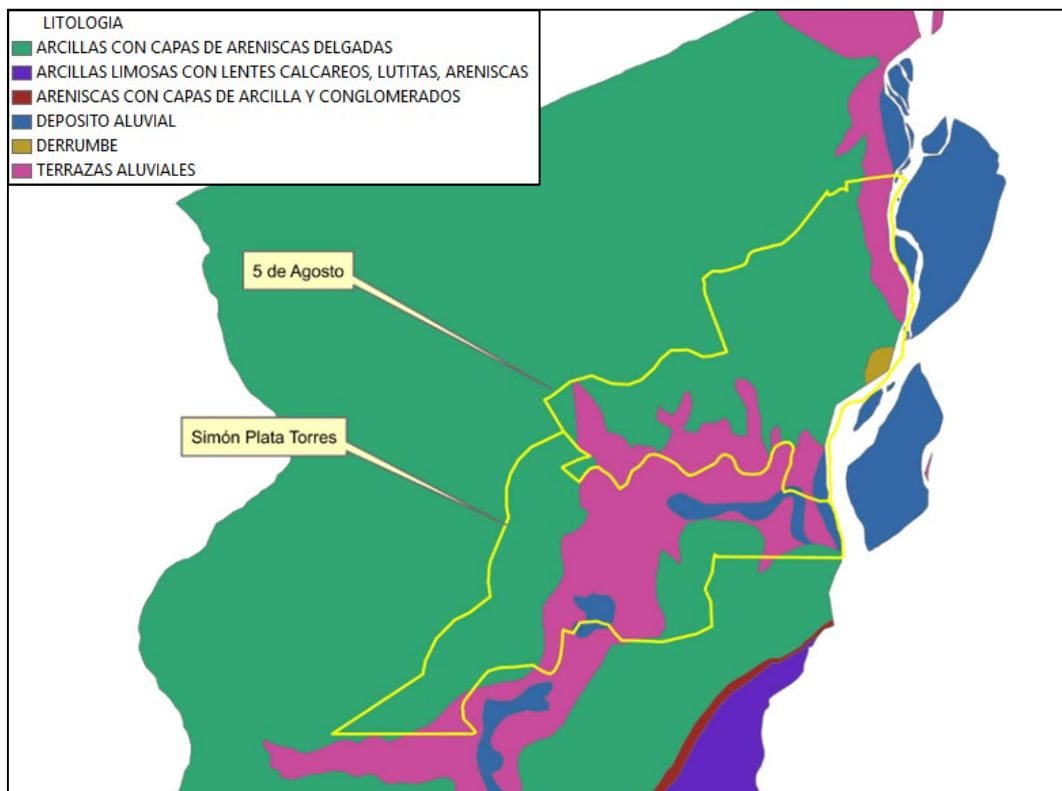


Ilustración 7. Litología del área de estudio

Por ejemplo, a la formación litológica *terrazas aluviales* se lo ponderó con “2” debido a sus características, y según se expresa en la tabla los Escenarios Mensuales – Amenaza de Movimientos en Masa (Secretaría de Gestión de Riesgo, 2014).

Tabla 2: *Ponderación litología*

LITOLOGÍA	W
Rocas ultrabásicas	1
Rocas ultrabásicas y básicas	
Calizas, lodolitas	2
Calizas, lutitas	
Calizas, lutitas metamorizadas con metavolcánicas	
Calizas, lutitas no metamorizadas	
Calizas, lutitas, areniscas	
Calizas, lutitas, volcanoclastos	
Conglomerados, areniscas tobáceas, lutitas	
Conglomerados, areniscas, lutitas	
Conglomerados, areniscas, lutitas rojas	
Conglomerados, areniscas, volcanoclastos	
Conglomerados, tobas, brechas	
Coquinas, areniscas, lodolitas	
Escombros de avalanchas	
Esquistos negros	
Esquistos pelíticos y grafiticos, paragneis	
Esquistos verdes y negros	
Esquistos verdes, negros, azules y eclogitas	
Esquistos y gneises semipelíticos	
Esquistos, metalavas, metagrauwacas	
Flujos de lava y piroclastos andesíticos a riolíticos	
Gabro, diorita	
Gabro, riolita	
Gneis migmatítico	
Granito	
Granito gneisico Per-alumínico	
Granito gneísico per-alumínico	
Granodiorita	
Granodiorita, diorita no deformadas	
Granodiorita, diorita, granito gneisico	
Granodiorita, diorita, granito gneisicos	
Granodiorita, diorita, granito gneísicos	
Granodiorita, diorita, pórfido	
Grauwacas, lutitas	
Lavas andesíticas a riolíticas, piroclastos	
Lavas andesíticas y basálticas, piroclastos	
Lavas andesíticas, a riolíticas, piroclastos	
Lavas andesíticas, piroclastos, lutitas	
Lavas andesíticas, tobas, volcanoclastos	
Lavas basálticas, tobas, brechas	
Lavas y piroclastos calco-alcalinios, capas rojas	
Limolitas calcáreas	
Mantos basálticos	
Metagrauwacas, metalavas	

Metagrauwacas, pizarras	
Metalavas basálticas y andesíticas, esquistos	2
Piroclastos, lahares, flujos de lavas	
Pizarras, cuarcitas	
Sienita y cuarzo-monzonita no deformados	
Terrazas marinas bioclásticas	
Terrazas, conglomerados, arenas, lutitas	
Terrazas, sedimentos fluviales	
Terrzas, sedimentos fluviales	
Turbiditas finas	
Turbiditas gruesas	
Turbiditas, lutitas	
Volcanoclastos, capas rojas	
"Melange" ofiolítico	3
Abanico volcánico, lahares	
Arcillas, tobas, areniscas, conglomerados	
Arenas, conglomerados, arcillas	
Complejo máfico-ultramáfico tipo "Alaskan Pipe"	
Arcillas marinas de estuario	4
Arcillas, arenas	
Arcillas, areniscas, lavas	
Arcillas, areniscas, lignito	
Arcillas, lutitas, tobáceas, yeso	
Arenas, conglomerados, arcillas	
Areniscas tobáceas	
Areniscas tobáceas, conglomerados, diatomitas	
Capas rojas, lutitas, rocas volcánicas	
Complejo de migmatitas	
Lutitas blancas	
Lutitas chocolates	
Lutitas rojas, yeso	
Lutitas silíceas	
Lutitas, arcillas, arenas	
Lutitas, areniscas	
Lutitas, areniscas, conglomerados	
Lutitas, calizas negras, areniscas	
Lutitas, calizas, lavas, piroclastos	
Lutitas, calizas, volcanoclastos	
Lutitas, capas rojas	
Lutitas, cherts, areniscas	
Lutitas, grauwacas	
Lutitas, grauwacas, gravas	
Lutitas, grauwacas, piroclastos	
Lutitas, limolitas	
Serpentinita	
Abanico aluvial mayor	5
Andesitas a riolitas, piroclastos	
Anfibolitas basálticas	
Anfobolitas basálticas	
Areniscas y cuarcitas	
Areniscas, conglomerados	
Areniscas, limolitas, lutitas	
Areniscas, lutitas, tobas	
Mármol, Pizarras	
Pegmatitas	

Nota: W: Peso

Dentro de la zona correspondiente a las parroquias 5 de Agosto y Simón Plata Torres existen únicamente los pesos 2 y 5, como se puede observar en la ilustración 8.

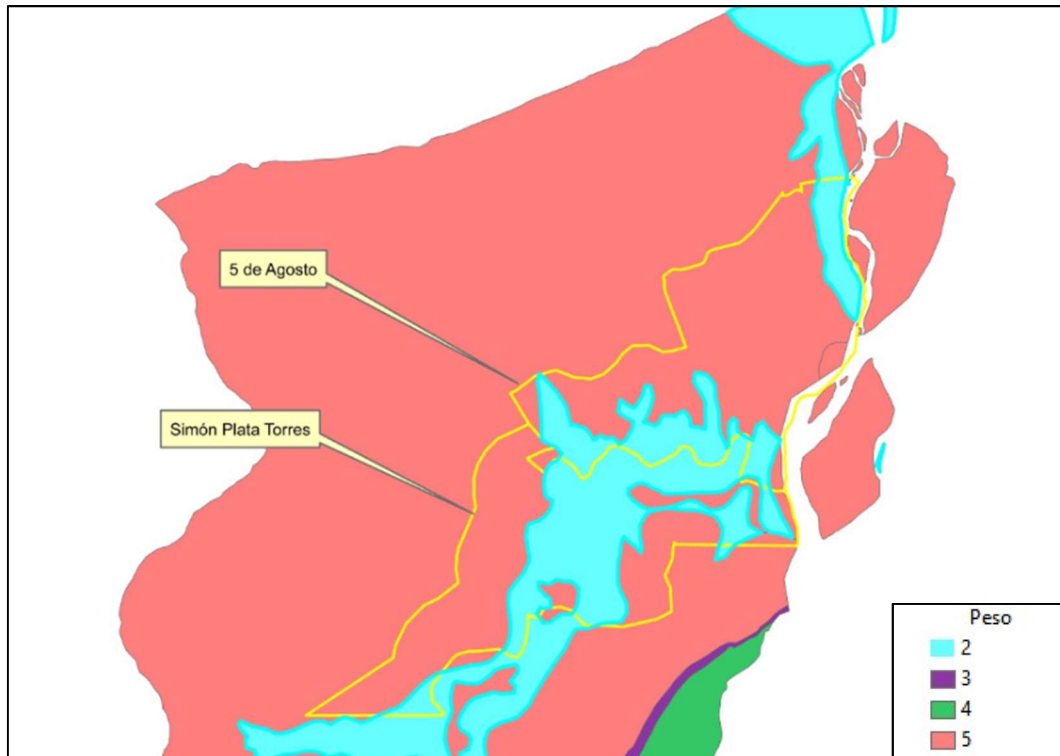


Ilustración 8. Ponderación según clasificación litológica

- Archivo “shape” de cobertura vegetal

Bennet (1998) citado por Maza (2009), considera que todas las biomasas constituyen una capa de vegetación natural o antrópica definen lo que es la cobertura vegetal, desde las más sencillas formaciones vegetales como los pastizales hasta los complejas formaciones boscosas.

Las formaciones vegetales y sus efectos sobre la estabilidad de los taludes no han tenido una explicación universalmente aceptada, y en la actualidad sigue siendo muy debatida. A pesar de aquello, la experiencia ha expuesto que la vegetación produce efectos positivos

en relación a problemas de erosión, deslizamientos y fallas subsuperficiales. (Suárez, 1998)

En la tabla 2 se observa la tabla de ponderación según la Secretaría de Gestión de Riesgo. Además, en la ilustración 9 muestran las diferentes coberturas vegetales de la zona en estudio.

Tabla 3: *Ponderación cobertura y uso de suelo*

NIVEL 2	W
Bosque nativo	1
Vegetación arbustiva	2
Vegetación herbácea	
Páramos	3
Pasto cultivado	
Plantación forestal	
Cultivos anuales	4
Cultivos permanentes	
Cultivos semipermanentes	
Mosaico agropecuario	
Área sin cobertura vegetal	5
Artificial	
Glaciares	
Infraestructura	
Natural	
Zonas pobladas	

Nota: W: Peso

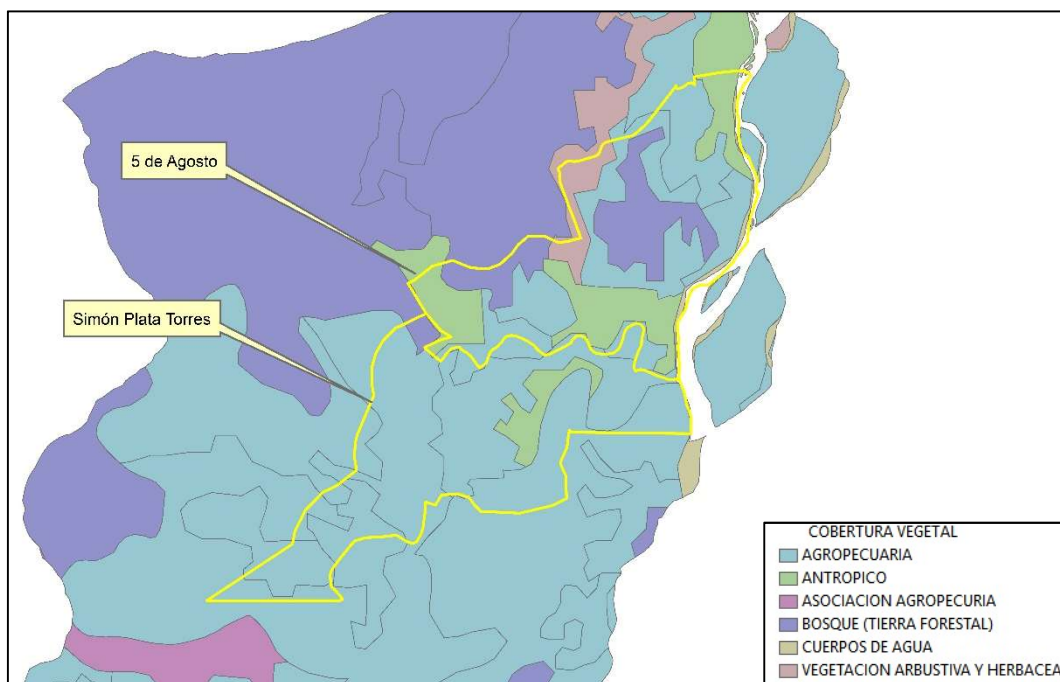


Ilustración 9. Cobertura vegetal del área de estudio

La ilustración 10 muestra la ponderación según la clasificación de las diferentes coberturas vegetales. En la zona de estudio no existe ponderación de nivel 5, que corresponde a coberturas como “áreas sin cobertura vegetal”.

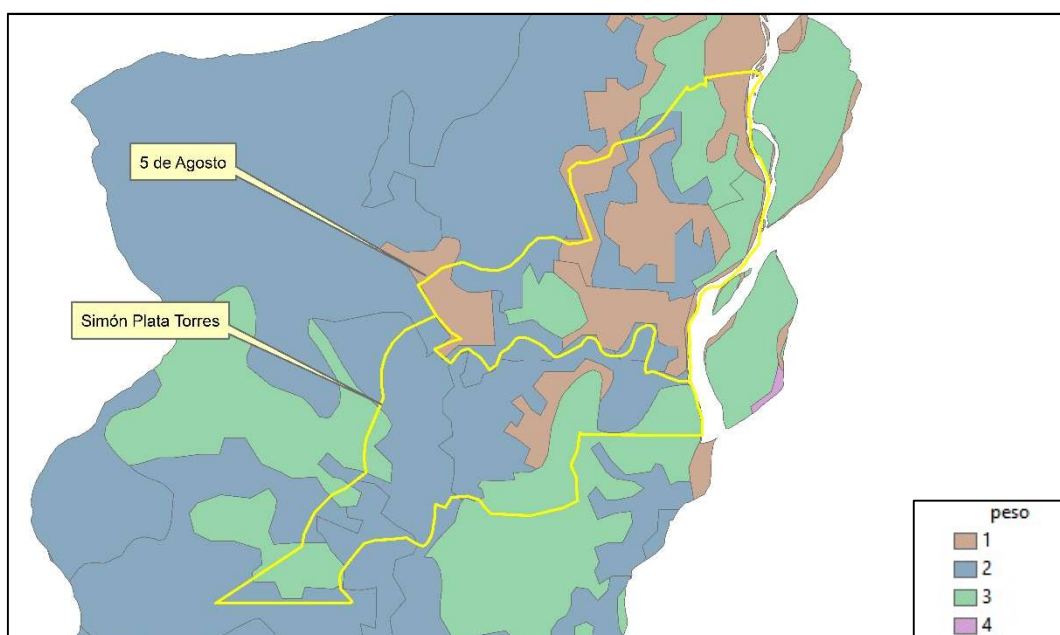


Ilustración 10. Ponderación según clasificación de cobertura vegetal

- Generación de pendientes y curvas de nivel desde archivo DEM

Las pendientes representan la medida de inclinación de los taludes o laderas, estas pueden ser expresadas en grados (45°), porcentaje (100%), o en relación de la distancia horizontal que corresponde a una distancia vertical (1H:1V). (Suárez, 1998)

La generación de pendientes desde el archivo DEM se realizó mediante la aplicación de la herramienta de análisis espacial. En la ilustración 11 se puede observar el cálculo de las pendientes y su simbología de acuerdo al método de Rupturas Naturales de Jenks. Este método generó automáticamente 9 clases, cuyos valores están expresados en %.

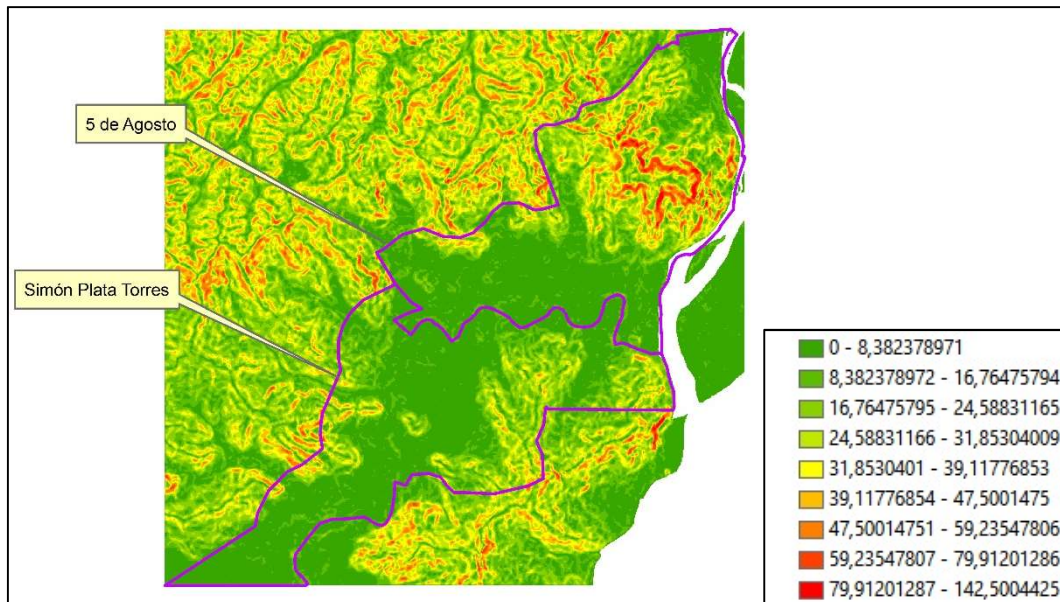


Ilustración 11. Pendientes - clases según método Rupturas Naturales de Jenks

Una vez generadas las pendientes, se realiza una reclasificación del archivo ráster y se calculan las clases de acuerdo a las especificaciones de la Secretaria de Gestión de Riesgo de nuestro país, como se especifica en la siguiente tabla:

Tabla 4: Ponderación de pendientes

DESCRIPCIÓN	RANGO	W
Plano a casi plano	0 – 5	1
Suave a ligeramente ondulado	5 – 12	
Eriales o afloramientos rocosos	Er	
Camaroneras	Oc	
Nieve y hielo	On	
Área urbana	U	
Cuerpos de agua (naturales o artificiales)	Wn	
Moderadamente ondulado	12 – 25	2
Colinado	25 – 50	3
Escarpado	50 – 70	4
Montañoso	>70	5

Nota: W: Peso

Las pendientes reclasificadas se muestran en la ilustración 12.

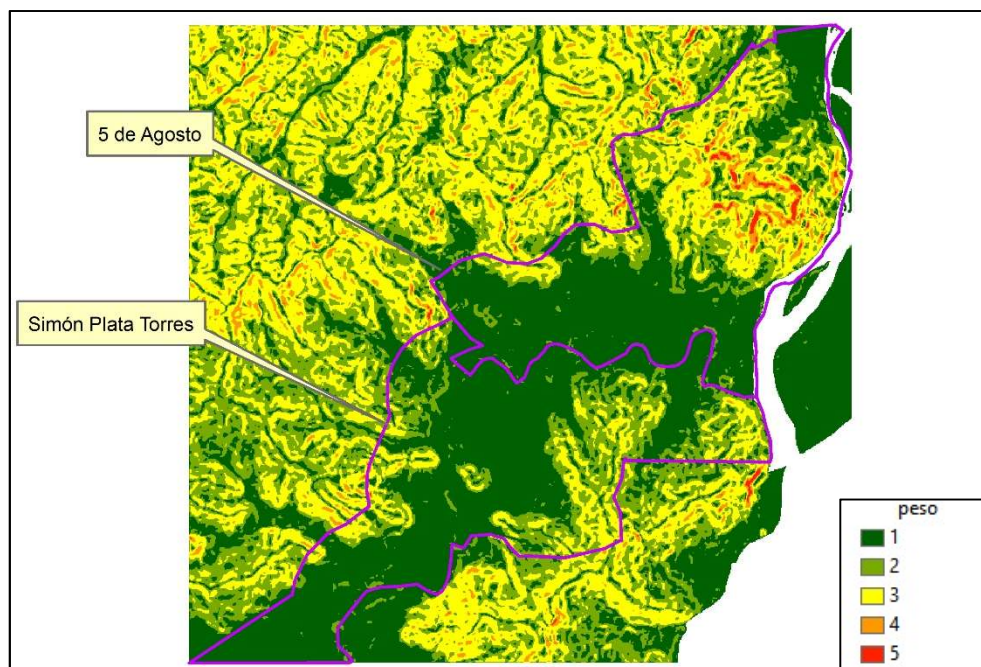


Ilustración 12. Ponderación de pendientes

Para la generación de las curvas de nivel se aplicó una herramienta de análisis 3D para superficies ráster, dentro de la caja de herramientas del sistema de información geográfica. La generación de las curvas se realizó cada 5 metros de distancia para obtener información más precisa. El resultado se puede observar en la ilustración 19.

- Conversión archivo CAD a shape

El archivo del catastro municipal del Cantón Esmeraldas se recopiló en formato de Diseño Asistido por Computadoras o CAD (por sus siglas en inglés), por lo que fue necesario realizar la correspondiente conversión de formato del archivo.

En la ilustración se observa el archivo original visualizado desde el software AutoCAD.

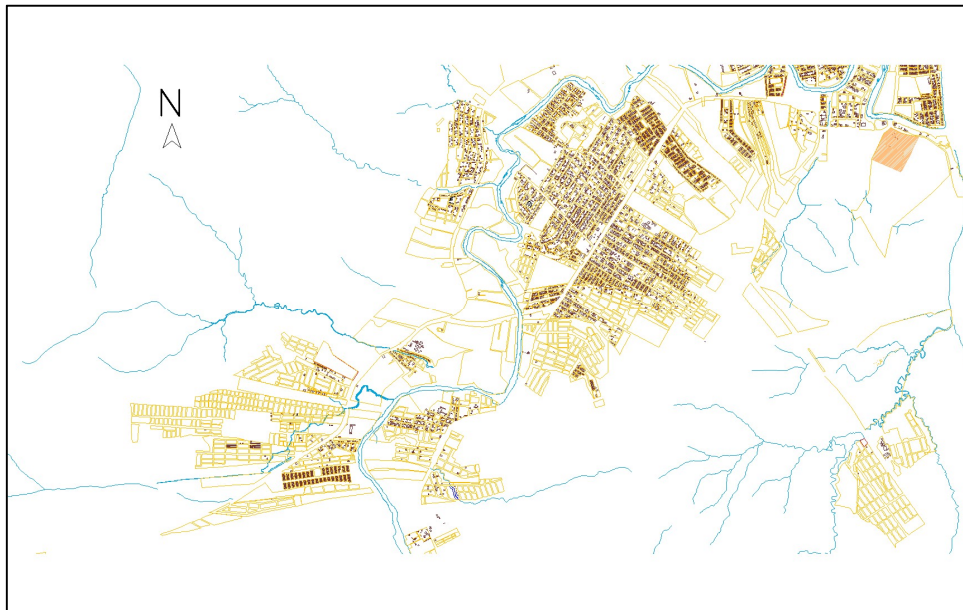


Ilustración 13. Catastro del cantón Esmeraldas en software CAD

Una vez realizada la conversión a formato shape se procede a extraer las capas de información necesaria para los diferentes procesamientos, como el caso de los ríos, división de las parroquias del cantón, límite de las manzanas y las construcciones o edificaciones. En la ilustración 14 se muestra por ejemplo la capa de edificaciones.

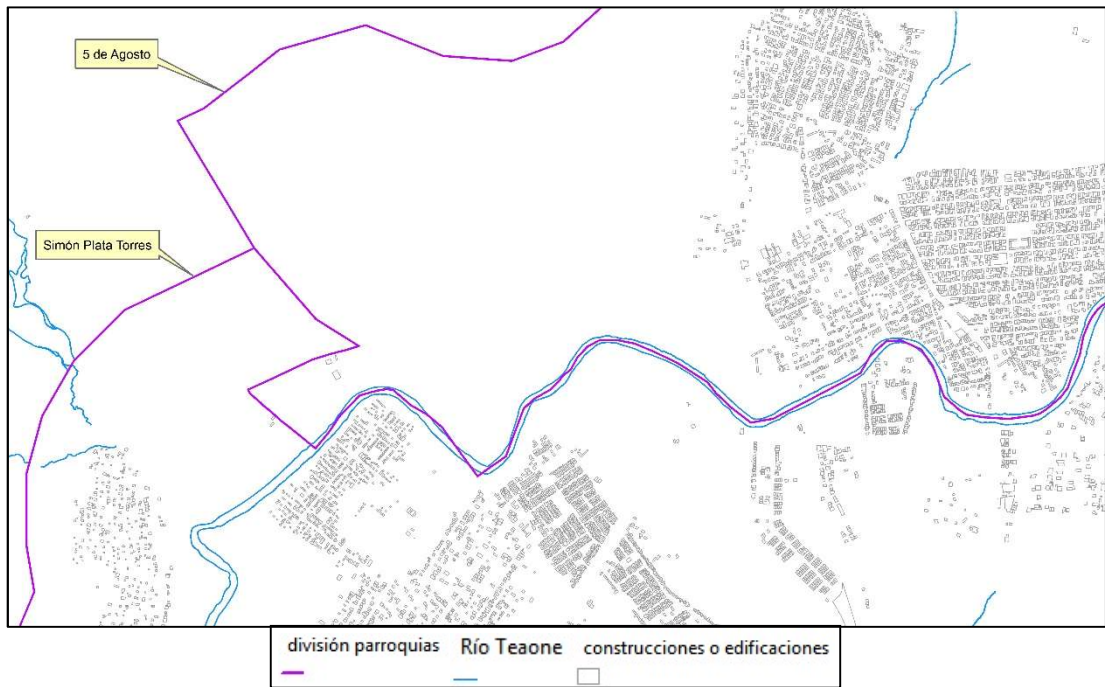


Ilustración 14. Catastro en formato shape

- Map Álgebra

Map Algebra es un conjunto de herramientas que permite ejecutar funciones y operadores para realizar análisis geográficos. En la ilustración 15 se puede observar la herramienta “calculadora raster”, que permite realizar cálculos geográficos específicamente para archivos en formato raster.

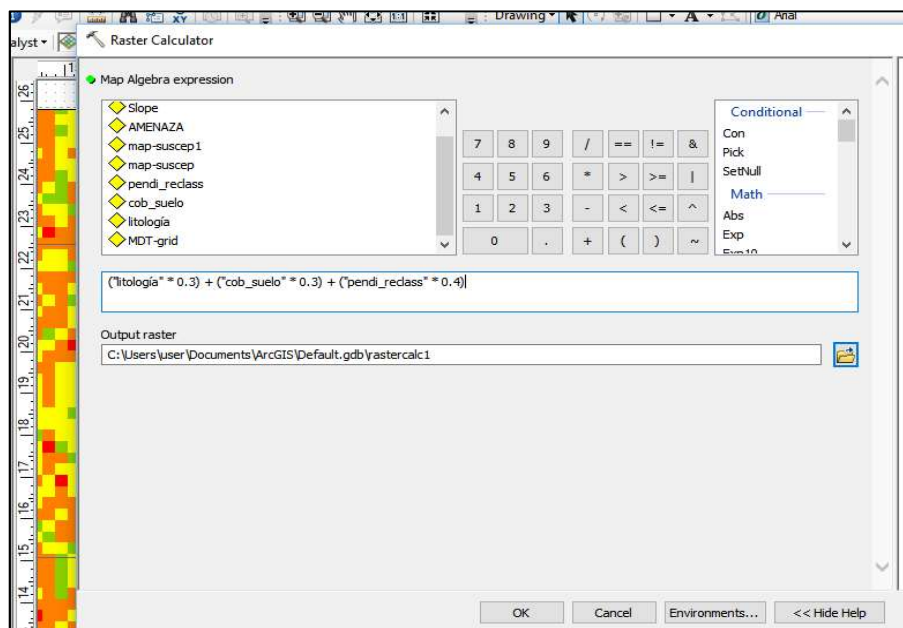


Ilustración 15. Fórmula en calculadora ráster

- Reclasificación ráster

Una vez aplicada la herramienta “calculadora raster”, obtenemos el archivo en formato raster de la susceptibilidad de los movimientos en masa. En la ilustración 16 se logra observar el producto con la clasificación según Rupturas Naturales de Jenks.

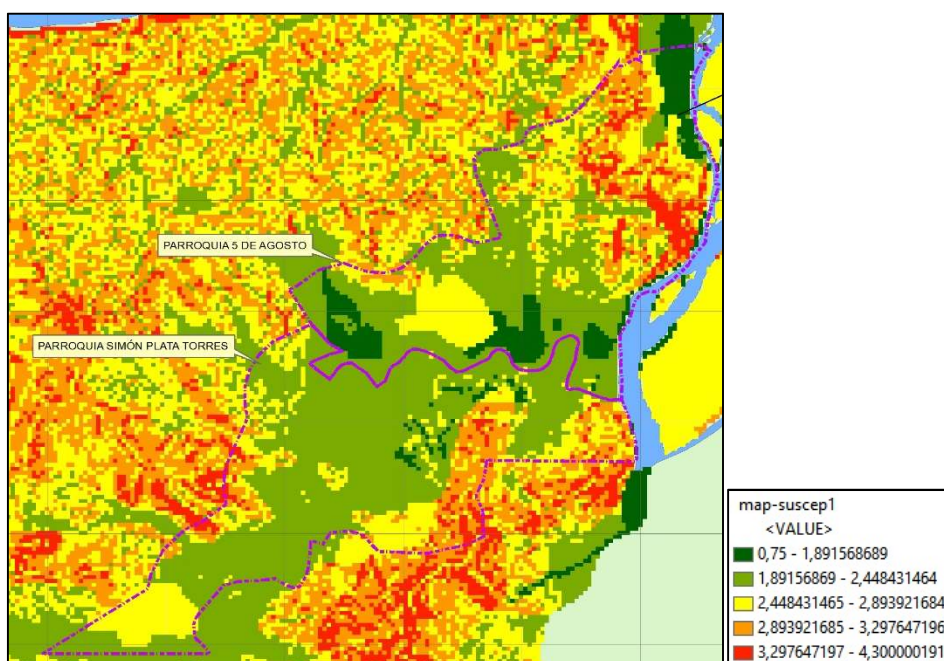


Ilustración 16. Susceptibilidad a deslizamientos

A este archivo se le realiza un reclasificación de acuerdo a los parámetros indicados por la Secretaría de Gestión Riesgo. En la ilustración 17 se puede observar el producto obtenido.

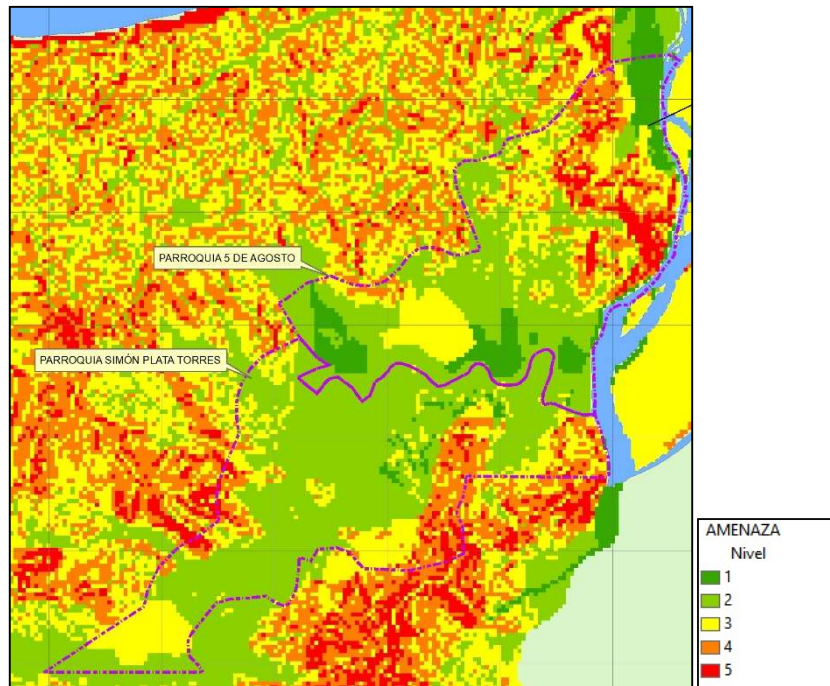


Ilustración 17. Amenaza por movimientos en masa

- Superposición de capas

En la ilustración 18 se muestra el producto final del procesamiento para la determinación de amenaza por movimientos en masa, en esta etapa ya se superponen todas las capas necesarias para realizar los posteriores análisis

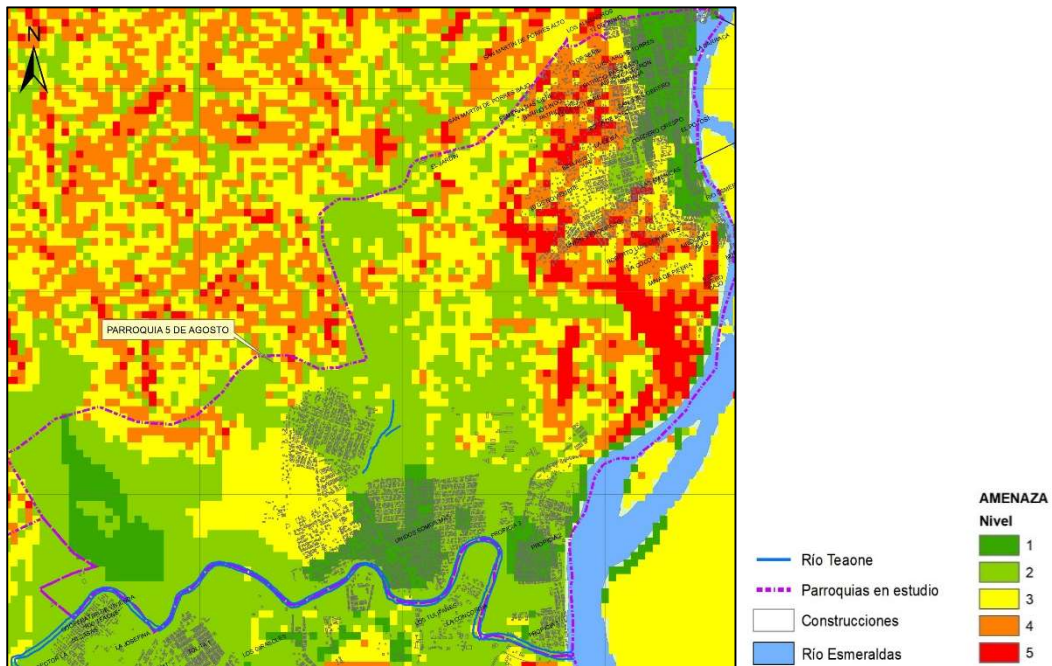


Ilustración 18. Amenaza por movimientos de masa - P. 5 de Agosto

- Validación y descarte de falsos positivos y negativos

Para el proceso de la validación de los resultados y el descarte de falsos positivos y negativos se emplean tres capas de información. Estas son: las curvas de nivel, que se obtienen desde el procesamiento del mismo archivo DEM; la formaciones vegetales que se encuentran en la capa de cobertura vegetal y uso de suelo; y los tipos de roca que se encuentran en la capa litología.

En la ilustración 19 se muestran las curvas de nivel de la zona en estudio, en esta ilustración se observan dos puntos en color fucsia que se tomaron al azar, como ejemplo para la demostración del proceso de validación y descarte de falsos positivos y negativos, y con la ilustración 17 de las amenazas por movimientos en masa se puede realizar una primera comparación de las dos zonas especificadas en la ilustración 19.

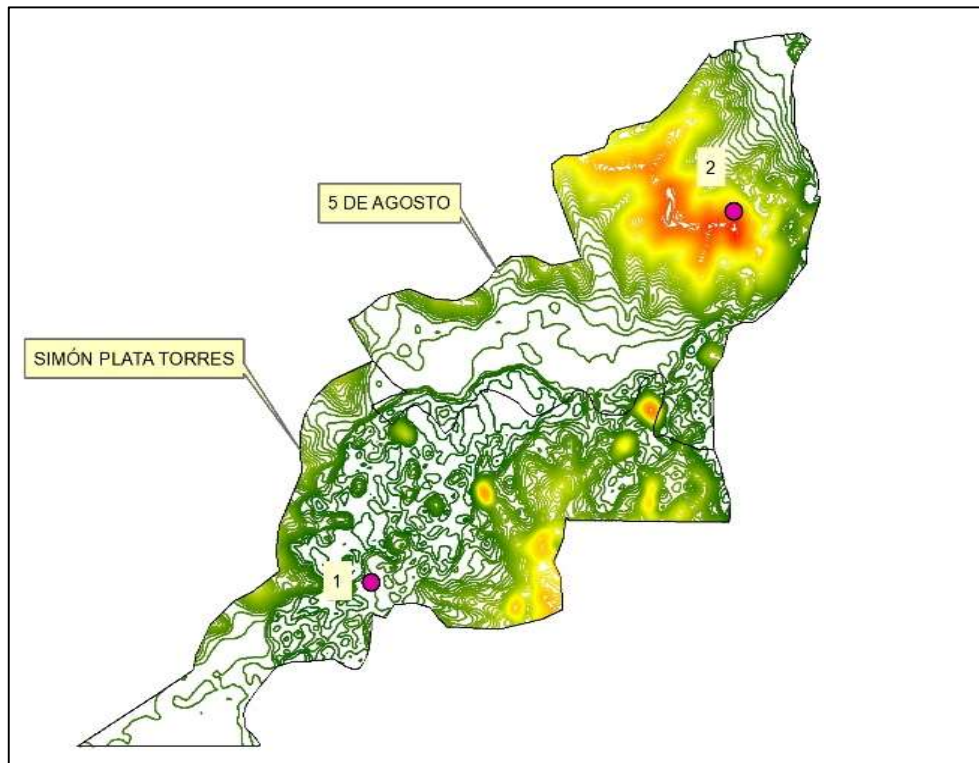


Ilustración 19. Curvas de nivel de la zona en estudio
 Debido a la cantidad de clases generadas (54) para la simbología de las curvas de nivel no se muestra una leyenda para esta ilustración.

En la ilustración 19, los puntos color fucsia son las zonas tomadas al azar para el ejemplo. Los colores en las curvas de nivel van desde un verde oscuro (5m de altura) hasta un color rojo (270m de altura), además estas curvas de nivel fueron generadas a cada 5m de distancia para obtener resultados más precisos.

Es evidente que tanto en las zonas del punto 1 como del punto 2 existe una relación con las mismas zonas de las amenazas por movimientos en masa. Puesto que en el primer punto observamos que según las curvas de nivel en esta zona existe una altura máxima de 39,6m de altura como se puede observar en el perfil generado en la zona 1, en la ilustración 20. Dicho perfil está generado en sentido Norte – Sur.

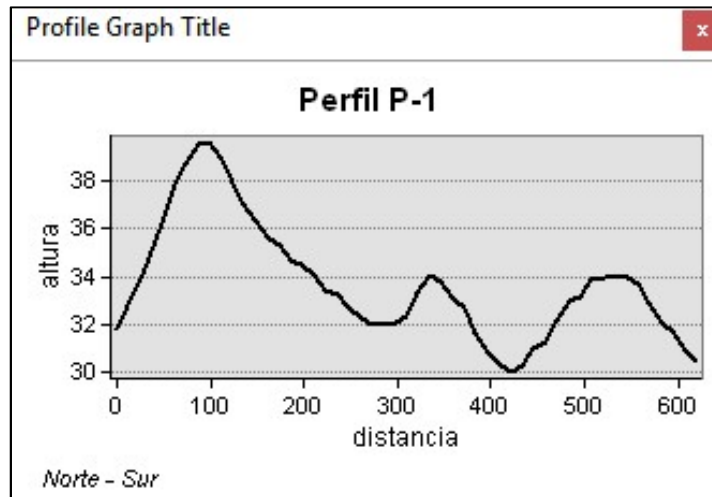


Ilustración 20. Perfil de la zona del Punto 1

Es así que la zona circundante al punto 1, según el mapa de amenazas de movimientos en masa es ponderada con el nivel 2 o nivel de amenaza baja, mostrando así una correspondencia con las curvas de nivel.

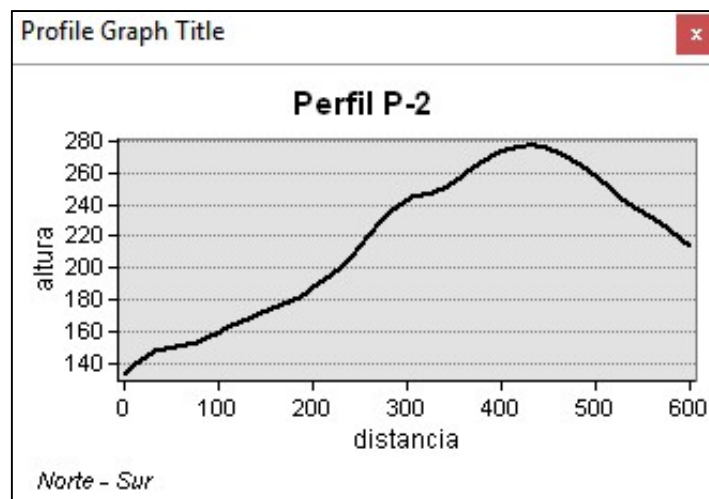


Ilustración 21. Perfil de la zona del Punto 2

De la misma manera, en la zona circundante al punto 2, observamos que la altura máxima es de 280m y una mínima de 140m, es decir que en apenas 400m aproximadamente la altura de la zona aumenta 140m como se puede observar en la ilustración 21; esto nos da una idea de que el porcentaje de pendiente es muy elevado. Según el mapa de amenazas

de movimientos en masa, esta zona está ponderada como nivel 4 de amenaza alta. Como en el primer caso, este también demuestra la correspondencia entre la información de las curvas de nivel y el mapa de amenaza de movimientos en masa.

Sin embargo, en este procesos de validación no solo se tomó en cuenta la información proporcionada por las curvas de nivel, sino también de otros aspectos o elementos como litología, cobertura vegetal y uso de suelo, y las pendientes del lugar. Lo que nos permite realizar un análisis de los datos obtenidos con mayor precisión.

Zonas vulnerables a inundaciones

Para determinar las zonas de inundación se aplicó la herramienta de geoprocésamiento denominada Buffer o “Zona de Influencia” con una especificación de influencia de 30 metros de desfase en cada margen del río. Es necesario precisar que esta herramienta genera una zona de influencia que solo toma en consideración los márgenes del cauce del río, pero no incluye en su procesamiento los diferentes perfiles a lo largo de toda la extensión del río analizada.

Por lo tanto, con estos resultados podemos determinar qué zonas se encuentran dentro del área no permitida para construcción cercana a un cauce de río, por el principio de prevención.

A continuación se detallan cada uno de los subprocesos aplicados en el estudio:

- Edición de capa shape “ríos”

Antes de aplicar el geoprocésamiento *buffer* se procedió a inspeccionar si la capa “ríos” se encontraba acorde a la realidad del terreno, y puesto que en algunas zonas del curso del río Teaone se encontraron inconsistencias se editó dicha capa.

En la ilustración 22 se logra observar uno de los tramos de la capa “ríos” que no coincide con el tramo real proporcionado por una imagen satelital.



Ilustración 22. Capa “ríos” sin editar.

Fuente de la imagen satelital: ESRI, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, Swisstopo, y la Comunidad de Usuarios SIG.

Sin embargo, luego de editar dicha capa, se obtiene información más cercana a la realidad con un altísimo porcentaje de confiabilidad, disminuyendo así el margen de error en los procesamientos posteriores. El resultado de la edición de la capa se puede observar en la ilustración 23.



Ilustración 23. Capa “ríos” editada.

Fuente de la imagen satelital: ESRI, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, Swisstopo, y la Comunidad de Usuarios SIG.

- Herramientas de geoprocésamiento

Las herramientas de geoprocésamiento empleada fueron *cortar*, *intersección*, *unión* y *buffer*. En la ilustración 24 se puede observar por ejemplo la aplicación de la herramienta *buffer* o *zona de influencia*.

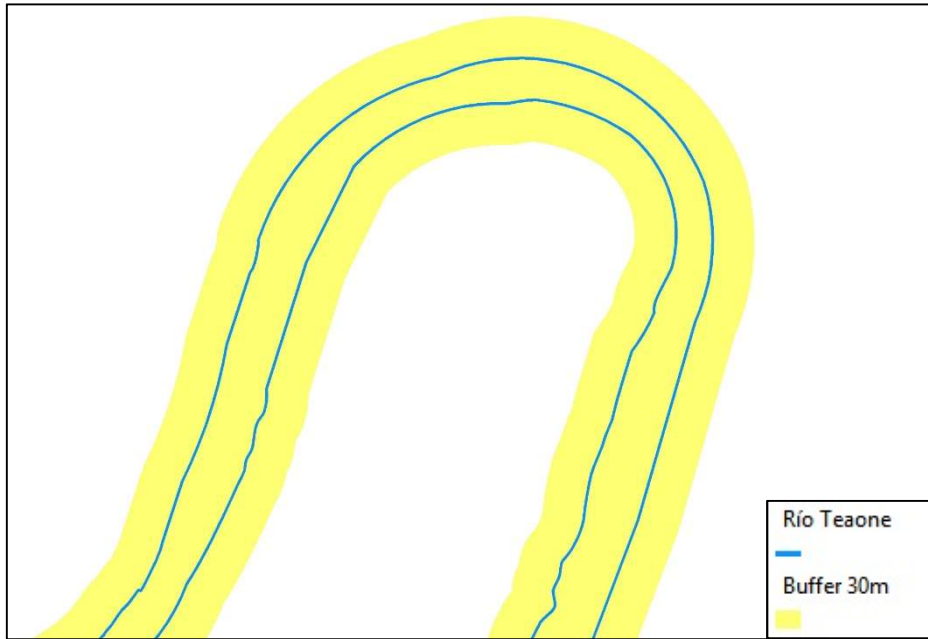


Ilustración 24. Aplicación geoprocesamiento Buffer

En la ilustración 25 se puede observar la aplicación del geoprocesamiento *intersección*, el cual nos permite extraer objetos entre varias capas que se intersecten entre sí.



Ilustración 25. Aplicación geoprocesamiento Intersección

Fuente de la imagen satelital: ESRI, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, Swisstopo, y la Comunidad de Usuarios SIG.

- Elaboración de polígonos de las áreas aptas para urbanizar

Una vez obtenidos los mapas de amenazas de movimientos en masa y el de la zona de influencia del río Teaone, es decir haber cumplido los dos primeros objetivos, se procede a la elaboración del tercer mapa con las zonas aptas para urbanizar con lo cual se da cumplimiento al tercer objetivo de este estudio.

En la ilustración 26 se observa la elaboración de dichos polígonos.

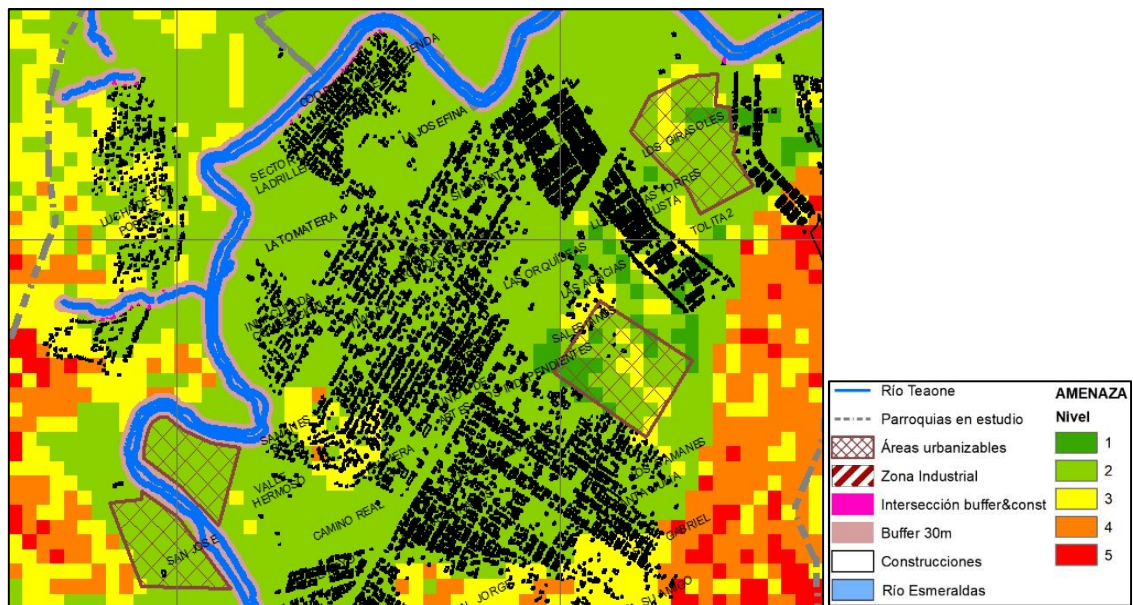


Ilustración 26. Elaboración de polígonos de áreas urbanizables

En la ilustración 26 se observan algunos ejemplos de las áreas aptas para urbanizar propuestas en este estudio. Dichas áreas se plantearon en zonas con nivel de amenaza 1 (muy baja), 2 (baja) y 3 (media), y respetando el área de influencia a ambos lados del río Teaone.

Resultados

Zonas con amenaza de movimientos en masa (Ver anexo 2)

- Parroquia 5 de Agosto

Dentro de la parroquia 5 de Agosto, los barrios o sectores más amenazados son: Esmeraldas Libre, Patricio Páez, Barrio Lindo, Boca de Lobo, 20 de Noviembre, Unión y Progreso, Mina de Piedra, La Cocoy, Aire Libre Alto, y 6 de Enero, como se puede observar en la ilustración 27.

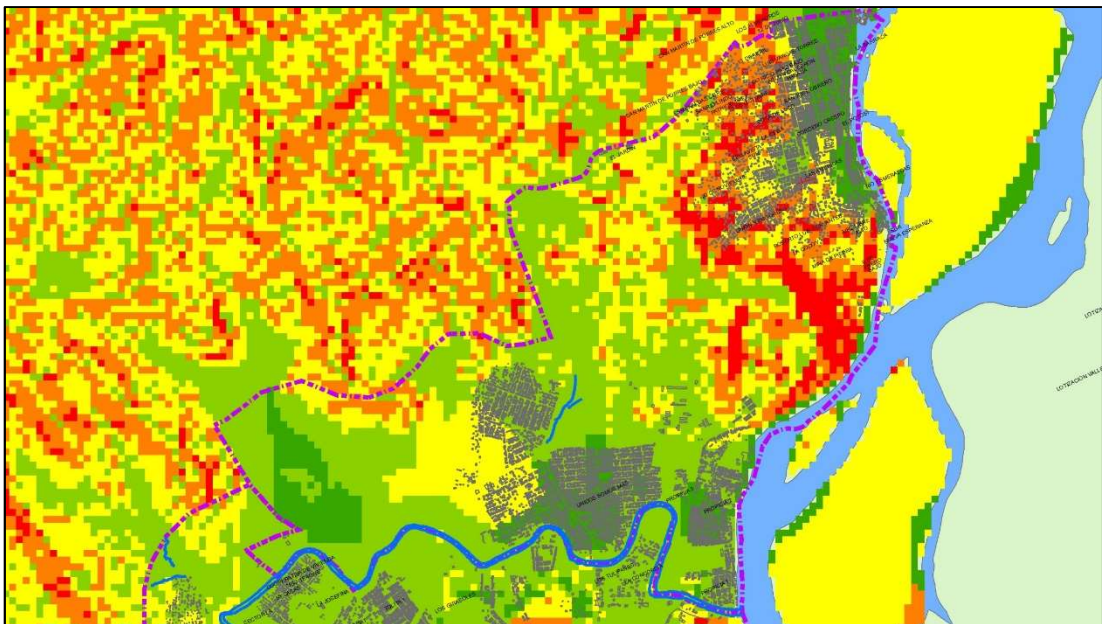


Ilustración 27. Amenaza de movimientos en masa - Parroquia 5 De Agosto

Los puntos verde oscuro equivalen a zonas con amenaza muy baja, los puntos de color verde claro son zonas con amenaza baja, los puntos de amarillo son zonas con amenaza de nivel medio, los puntos de color naranja son zonas con amenaza de nivel medio alto, y los puntos de color rojo equivalen a zonas con una amenaza alta.

- Parroquia Simón Plata Torres

Dentro de la parroquia Simón Plata Torres, los barrios o sectores más amenazados son: Los Girasoles, Los Samanes, Santa Julia, San Gabriel, San Jorge, Costa Verde, La Tormenta, Monte Sinaí, Tierra Nuestra, TecniPetrol y Lotización ASTAPE, como se puede observar en la ilustración 28.

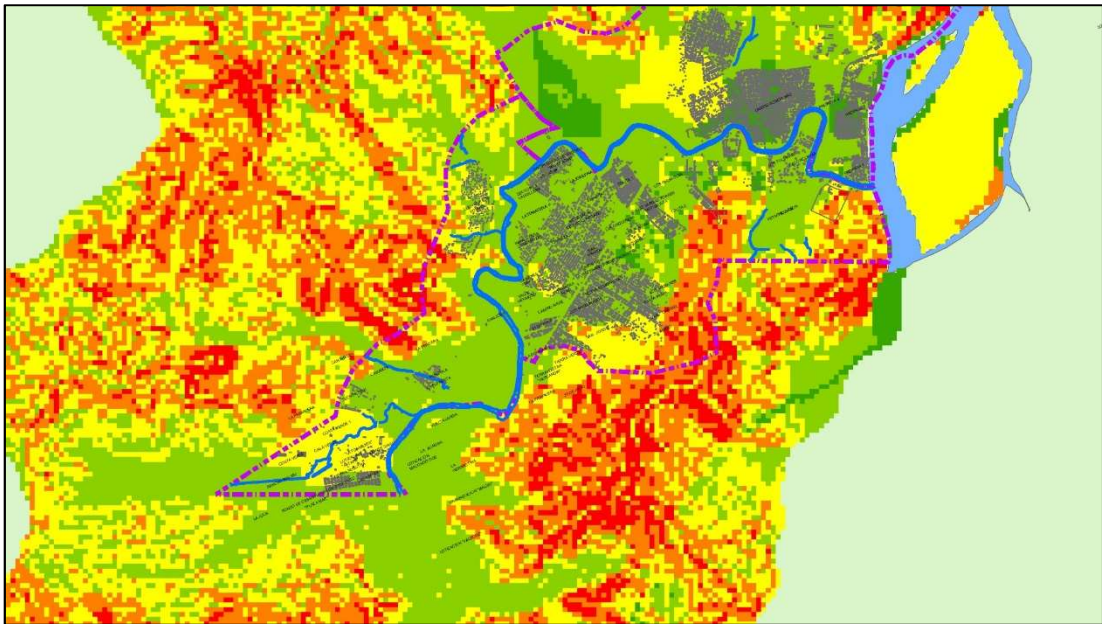


Ilustración 28. Amenaza de movimientos en masa - Parroquia Simón Plata Torres
Los puntos verde oscuro equivalen a zonas con amenaza muy baja, los puntos de color verde claro son zonas con amenaza baja, los puntos de amarillo son zonas con amenaza de nivel medio, los puntos de color naranja son zonas con amenaza de nivel medio alto, y los puntos de color rojo equivalen a zonas con una amenaza alta.

Según el modelamiento realizado para determinar la amenaza de los movimientos en masa se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 5: Áreas totales por valor de amenaza

Valor	Conteo	Tamaño pixel(m)	Área Total (m ²)
1	1 513	54*54	4 411 908
2	11 620	54*54	33 883 920

3	17 021	54*54	49 633 236
4	12 658	54*54	36 910 728
5	5 327	54*54	15 533 532

Nota: m: metros; m2: metros cuadrados

Como se evidencia en la tabla 5, la amenaza de nivel 3 con 49,66 millones de metros cuadrados o 4.966 hectáreas, es seguida de la amenaza de nivel 4 con 36,91 millones de metros cuadrados o 3.691 hectáreas. El nivel de máxima amenaza, alcanza un área total de 15,53 millones de metros cuadrados o 1.553 hectáreas.

Zonas vulnerables a inundaciones (Ver anexo 3)

Al aplicar una zona Buffer de 30 metros a cada margen del río, obtuvimos una idea más concreta de las zonas que no cumplen con la distancia mínima para construcción cercana a los cauces de río, y que además están propensas a tener inconvenientes en las épocas con más lluvias.

Las zonas más vulnerables a inundaciones, según la metodología aplicada, son los barrios: La Concordia, Propicia 1, Cooperativa de Vivienda Río Teaone, 50 Casas, Tiwinza, La Ladrillera, Púmpula, La Floresta, Samanes Bajo, y Monte Sinaí, como se puede ver en la ilustración 29.



Ilustración 29. Zonas vulnerables a inundaciones
 Se pueden notar varias zonas marcadas en color rojo que representan una intersección entre construcciones y la zona de influencia de 30 metros del río Teaone.

Zonas propuestas para urbanizar (Ver anexo 5)

Una vez obtenida la información de las amenazas de movimientos en masa y las áreas o zonas de influencia del río Teaone, se realizó el cruce de información junto a la capa de construcciones del catastro municipal, y se establecieron a través de la creación de polígonos, las zonas que pueden ser urbanizables. Es importante tener en cuenta que estas zonas propuestas responden únicamente a un análisis de las zonas de riesgo por amenazas de movimientos en masa e inundaciones.

Es así que en la ilustración 30 se muestra en conjunto la elaboración de los polígonos en las áreas urbanizables dentro de las dos parroquias objeto de este estudio.

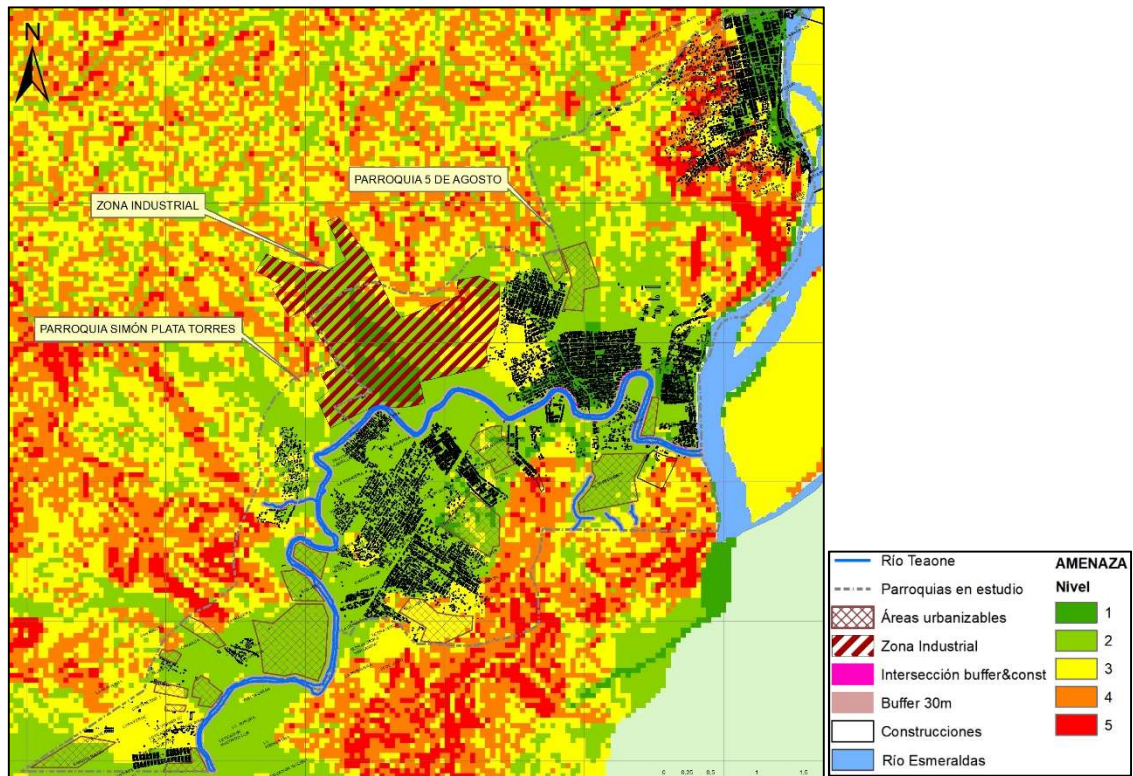


Ilustración 30. Zonas urbanizables

De todas las áreas propuestas para urbanizar se obtiene aproximadamente un área total para futuros procesos de urbanización de 221,13 hectáreas. Este resultado fue obtenido con la sumatoria de cada una de las áreas propuestas para urbanizar, cuyas áreas individuales se pueden observar en la última columna de la tabla de atributos generada en el sistema de información geográfica, presentada en la ilustración 31.

FID	Shape *	NAME	LAYER	ELEVATION	PERIMETER	ENCLOSED A	LENGTH	WIDTH	área ha
0	Polygon ZM	pol 2	Unknown Area Type	0	960.1 m	5,0097014856*			5,009701
1	Polygon ZM	pol 3	Unknown Area Type	0	2,049 km	0,1748004782*			17,480048
2	Polygon ZM	pol 4	Unknown Area Type	0	1,062 km	4,4275287034*			4,427529
3	Polygon ZM	pol 5	Unknown Area Type	0	1,583 km	0,1352302961*			13,52303
4	Polygon ZM	pol 6	Unknown Area Type	0	1,511 km	0,2388162849*	434.39 m	318.53 m	23,881628
5	Polygon ZM	pol 8	Unknown Area Type	0	1,344 km	5,4719524728*			5,471952
6	Polygon ZM	pol 9	Unknown Area Type	0	564.34 m	1,4584874225*			1,458487
7	Polygon ZM	pol 10	Unknown Area Type	0	1,122 km	6,6863157982*			6,686316
8	Polygon ZM	pol 11	Unknown Area Type	0	932.14 m	3,9309211109*			3,930921
9	Polygon ZM	pol 12	Unknown Area Type	0	628.7 m	2,2110649769*			2,211065
10	Polygon ZM	pol 13	Unknown Area Type	0	1,474 km	6,3846304302*			6,38463
11	Polygon ZM	pol 14	Unknown Area Type	0	1,338 km	9,0685762230*			9,068576
12	Polygon ZM	pol 15	Unknown Area Type	0	1,196 km	7,5430589375*			7,543059
13	Polygon ZM			0	2,01820*	0,1510417881*			15,104179
14	Polygon ZM			0	2,88125*	0,4968028770*			49,680288
15	Polygon ZM			0	2,14833*	0,1977999502*			19,779995
16	Polygon ZM			0	2,46060*	0,2949017287*			29,490173

Ilustración 31. Tabla de atributos de “Áreas urbanizables”

Discusión

Respecto a esta temática se han realizado varios estudios, como el realizado por Van den Berg, Drewett, Klaasen, Rosi & Vijverberg (Urban Europe: a study of growth and decline, 1982); o el realizado por Hernández & Ramírez (Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca Cay, Ibagué, Tolima, Colombia, 2016) en el que se logró determinar cuáles son los taludes, laderas y quebradas más críticas de esa localidad.

En este último se aplicó una metodología que inició por levantar en campo un inventario sobre los taludes inestables, luego se determinaron factores detonantes y elementos expuestos, y finalmente se realiza el análisis de la amenaza y la vulnerabilidad física. Esta metodología es sin lugar a dudas muy útil y además permite conocer el estado real del terreno, sin embargo requiere de personal muy capacitado en estos temas para poder realizar las inspecciones, y determinar con exactitud parámetros como morfología, material del sitio, estado de avance y desarrollo, entre otros.

En este punto se puede decir que esta metodología es meramente manual, puesto que todos los cálculos matemáticos pueden ser realizados sin la aplicación de un sistema de información geográfica.

Esta metodología explicada por Hernández & Ramírez (2016) toma en consideración para los cálculos, factores como pendiente del terreno, geología y usos del suelo, al igual que la metodología propuesta para esta investigación. Sin embargo, los dos autores mencionados anteriormente también incluyen factores como precipitación y acción antrópica, lo que le convierte en una metodología muy compleja y con resultados muy útiles.

En ambas metodologías se obtuvieron resultados que permiten calificar el riesgo y la amenaza, respectivamente. La diferencia está en que los rangos descritos por estos dos autores, usados para la calificación del nivel del riesgo varían desde < 66 hasta > 176 , mientras que la metodología de este estudio establece rangos de 1 a 5 para calificar la amenaza.

Esto es debido a que en la primera, se emplean varias fórmulas para obtener los valores de dos factores principales que son la amenaza, la vulnerabilidad física y la probabilidad

de ocurrencia, para finalmente obtener el valor del riesgo asociado a vulnerabilidad física (RVF). Dicho valor se calcula multiplicando estos tres elementos mencionados anteriormente, por lo cual se obtienen valores con rangos elevados.

Mientras que en la segunda metodología se aplica una sola fórmula, después de haber realizado un ponderación de los diferentes factores tomados en consideración en dicha fórmula. Estos factores son multiplicados por índices que en conjunto deben alcanzar el valor de 1, por lo que los valores de la misma son de rangos muy bajos.

Por otro lado, la metodología de Hernández & Ramírez analiza los taludes de manera aislada, no toma en consideración los factores de las zonas cercanas, como sí lo hace la metodología propuesta en este estudio. Este puede ser un factor limitante para la primera metodología.

Por lo tanto, ambas metodologías pueden ser aplicadas en conjunto, permitiendo de esta manera que los resultados de las dos sean contrastados, generando así información muy valiosa.

En Ecuador, se realizó un estudio por parte de Buitrón (Metodología y modelo para movimientos en masa (Deslizamientos, Derrumbes, Caída, Flujo y Reptación) utilizando técnicas de SIG y teledetección, 2014) en la ciudad de Cayambe, en el que pudo identificar las zonas más afectadas y cuantificar superficialmente el grado de amenaza del cantón.

En nuestro país existe muy poca información relacionada al análisis de amenazas de movimientos en masa, y en nuestra ciudad no se ha realizado ninguno aplicando técnicas con sistemas de información geográfica. Esto sin lugar a dudas es algo preocupante después de todos los casos de deslizamientos de tierra que se han suscitado en nuestro cantón.

Existe una tesis de grado realizada por Saldarriaga (Estudio de taludes en condiciones dinámicas para áreas urbanas en el cantón Esmeraldas, sector Las Palmas, 2016), en la que se aplican metodologías del campo de la ingeniería civil, y no se toman en cuenta por ejemplo las coberturas vegetales o usos del suelo de la zona.

Además este fue realizado en una zona que, si bien posee mucha población, en la actualidad no es muy relevante desde el punto de vista demográfico y de la planificación

territorial, puesto que la población está ocupando nuevos espacios y es indispensable también estudiar nuevas zonas antes de que estas sean ocupadas.

Con respecto a esto, luego de un análisis de las variables litología, cobertura vegetal y uso de suelo y las pendientes del terreno, es muy necesario que se revise la metodología propuesta por la Secretaría de Gestión de Riesgo, debido a los casos especiales que pueden darse durante estos modelamientos, tal como se describen en la tabla 1 de este estudio.

Una nueva metodología debe incorporar todos esos casos especiales que se producen durante este tipo de modelamiento, es importante que sean tomados en cuenta para generar resultados más cercanos a la realidad de cada zona estudiada.

En relación a riesgo por procesos de inundación de ríos, existe un estudio realizado en la ciudad de Lima – Perú por Celmi (2009), en el que se aplica un Análisis Multi-Criteria (MCA) en la planificación para la mitigación de inundaciones en la parte baja del río Chillón. El MCA permite comparar resultados cualitativos y cuantitativos, y aplicar un sistema de información geográfica. Esta metodología, de manera general es similar a la metodología heurística propuesta por Lozano (2009). Sin embargo, el MCA consta de tres etapas. La primera consiste en identificar el problema y recopilar información básica necesaria; en la segunda etapa se determina el contexto de decisión en base a la información obtenida en la primera etapa y se elabora el mapa de vulnerabilidad con el uso de un sistema de información geográfica; y en la última etapa se realiza una proyección y evaluación de las alternativas estratégicas de solución, se aplican las técnicas de estandarización, ponderación y suma ponderada.

La metodología aplicada en este estudio, no se aleja de la usada por Celmi. Puesto que al igual que la autora, se empezó por la recopilación de información básica de la zona en estudio, luego se procedió al análisis de esa información en el sistema de información geográfica, pero en la etapa final no se realizó una ponderación sino más bien una superposición de capas, con la que obtuvieron los resultados que permitieron cumplir con los objetivos del estudio.

En lo que sí se diferencia la metodología propuesta por Celmi, es en la evaluación hidráulica realizada mediante la aplicación de un sistema denominado HECGeoRas, lo

que le permitió modelar escenarios como escurrimiento del agua, calcular el volumen y espejo de agua, y consecuentemente modelar la inundación.

Con respecto a estudios relacionados a modelación de inundaciones o posibles inundaciones por áreas de influencia en cauce de ríos, no existe ningún estudio previo realizado en la provincia de Esmeraldas. Se pueden encontrar solamente estudios relacionados a la contaminación ambiental, como la tesis realizada por Prado (2015) en la que se emplearon macroinvertebrados como bioindicadores y análisis físico-químicos para determinar la calidad del agua del Río Teaone a su paso por Refinería Estatal de Esmeraldas y Termoeléctrica.

En el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2012 – 2022 del cantón Esmeraldas, se hace mención en el Capítulo II El Sistema Ambiental, al riesgo por deslizamiento e inundaciones. En este PDOT se presenta un mapa de riesgo pero no explica la metodología usada para la elaboración del mismo, ni tampoco presenta la fuente de dicho mapa. Además, expresa que el 30% de la población urbana de la ciudad se encuentra en zona de impacto alto y muy alto por inundaciones y deslizamientos, pero tampoco muestra la fuente de dicha información.

En esta investigación, los resultados del geoprocesamiento de la zona de influencia o buffer aplicada, generó información muy valiosa para determinar zonas que incumplen con límites permisibles para construcción, y ahora se puede conocer las familias vulnerables a procesos de inundación por la crecida del río Teaone. Nuevos estudios relacionados a esta temática, y que apliquen este tipo de metodologías permitirá comparar los resultados y proponer mejores alternativas.

Conclusiones

- Los sectores con mayor amenaza de movimientos en masa son: Esmeraldas Libre, Patricio Páez, Barrio Lindo, Boca de Lobo, 20 de Noviembre, Unión y Progreso, Mina de Piedra, La Cocoy, Aire Libre Alto, y 6 de Enero, en la parroquia 5 de Agosto; y Los Girasoles, Los Samanes, Santa Julia, San Gabriel, San Jorge, Costa Verde, La Tormenta, Monte Sinaí, Tierra Nuestra, TecniPetrol y Lotización ASTAPE, en la parroquia Simón Plata Torres. Todas estas localidades presentaron construcciones intersectadas con puntos de amenaza de nivel 3, 4 y 5.
- Los sectores o barrios con mayor amenaza de inundaciones por incumplimiento del límite mínimo de 30 metros al margen de un cauce hídrico, especificado en el procesamiento buffer o zona de influencia, son: La Concordia, Propicia 1, Cooperativa de Vivienda Río Teaone, 50 Casas, Tiwinza, La Ladrillera, Púmpula, La Floresta, Samanes Bajo, y Monte Sinaí.
- Según los análisis realizados en base a las inundaciones y los movimientos en masa de tierra, las zonas más aptas para ser urbanizables son las zonas cercanas al Hospital del Sur Carlos Concha Torres, Tolita 1 y 2, San Jorge Bajo y las zonas circundantes a la vía que conecta al cantón Esmeraldas con el cantón Atacames, entre otras. Todas las áreas propuestas para urbanizar suman un total 221,13 hectáreas y se pueden observar con mayor detalle en el anexo 5. Esta propuesta, sin embargo, no toma en consideración otros aspectos importantes como la aptitud de los suelos, las zonas con cobertura vegetal o bosques importantes, entre otras.
- La metodología propuesta en este estudio es de bajo costo de ejecución, requiere de poco tiempo para obtener los resultados de los modelamientos, presenta mucha facilidad de actualización de la información, y sobre todo genera resultados muy valiosos que pueden ser comparados con otros estudios y otras metodologías complementarias, que convierten sus resultados en productos de altísima importancia en la toma de decisiones.

Recomendaciones

- Es importante que se disponga de una plataforma web local con información geográfica actualizada, con información real y validada. Esto ayudaría mucho al momento de obtener información para la realización de estudios posteriores.
- Que se propongan proyectos que motiven a la colectividad universitaria a involucrarse en el desarrollo de estudios en el campo de los sistemas de información geográfica, aplicadas a cualquier ámbito que represente un beneficio para nuestras comunidades.
- Que se realicen nuevas investigaciones relacionadas a esta temática, para que se puedan comparar los resultados obtenidos en este estudio y se propongan nuevas alternativas a la problemática abordada en la misma.
- Que se utilicen los modelamientos realizados en este estudio, para la gestión de los predios o lotes, o en procesos de urbanización, puesto que es indispensable considerar las amenazas de los movimientos en masa y los límites permisibles de construcción respecto de los cauces hídricos. Contribuyendo a que el ordenamiento territorial de las ciudades o localidades en general, apliquen procesos de urbanización correctamente planificados.

Referencias

- Accinelli, E., & Brida, J. G. (2006). Crecimiento económico óptimo y crecimiento poblacional: una versión mejorada del modelo de Ramsey. *Papeles de población*, 12(47), 227-241. Recuperado el 8 de enero de 2017, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-74252006000100009&lng=es&tlng=es
- Alberti, M., Weeks, R., & Coe, S. (Septiembre de 2004). Urban Land-Cover Change Analysis in Central Puget Sound. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(9), pp. 1043-1052.
- Australian Geomechanics Society. (March de 2007). Guideline for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land Use Planning. *Australian Geomechanics Journal and News of the Australian Geomechanics Society*, 42(1), 13-36. Recuperado el 1 de Agosto de 2017, de <http://australiangeomechanics.org/wp-content/uploads/2010/11/LRM2007-a.pdf>
- Barragán, J. M., & de Andrés, M. (2016). Expansión urbana en las áreas litorales de América Latina y Caribe. *Revista de Geografía Norte Grande*, 64, 129-149.
- Bennet, A. F. (1998). *Enlazando el paisaje: El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre*. (J. M. Blanch, Trad.) Gland, Suiza: IUCN.
- Buitrón, V. S. (Agosto de 2014). Metodología y modelo para movimientos en masa (Deslizamientos, Derrumbes, Caída, Flujo y Reptación) utilizando técnicas de SIG y teledetección. 64. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Celmi, C. J. (2009). Aplicación del Análisis Multi-Criteria (MCA) en la planificación para la mitigación de inundaciones en la parte baja del río Chillón. En UN/EIRD, *La gestión del riesgo urbano en América Latina: Recopilación de artículos* (págs. 235 (38-57)). Lima: UN/EIRD.
- Chi, G., & Ventura, S. (2011). Population Change and Its Driving Factors in Rural, Suburban, and Urban Areas of Wisconsin, USA, 1970-2000. *International Journal of Population Research*, 2011, 14 pages.

- Ciampagna, J. (2007). Aplicaciones urbanas de la teledetección. En L. i. Policy, & D. Erba (Ed.), *Catastro multifinalitario: aplicado a la definición de políticas de suelo urbano* (págs. 295-312). Cambridge, MA.
- Cifuentes, R. P., & Londoño, L. J. (2010). Análisis del crecimiento urbano: Una aproximación al estudio de los factores de crecimiento de la ciudad de Manizales como aporte a la planificación. *Gestión y Ambiente*, 13(1), 53-66.
- CIIFEN. (2017). *Aproximación para el cálculo de riesgo*. Recuperado el 21 de Julio de 2018, de Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño: http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=84&Itemid=336&lang=es
- De Smith, M. J., Goodchild, M. F., & Longley, P. A. (2018). *Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles Techniques and Software Tools* (6th ed.).
- ECUAVISA. (27 de enero de 2016). *Dos muertos por inundaciones en Esmeraldas y Manabí*. (alaines, Editor) Recuperado el 25 de enero de 2017, de <http://www.ecuavisa.com/articulo/noticias/actualidad/126954-dos-muertos-inundaciones-esmeraldas-manabi>
- GADP Vuelta Larga. (2011). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Vuelta Larga*. Esmeraldas. Recuperado el 9 de enero de 2017, de http://www.vueltalarga.gob.ec/images/Plan_O_T_de_Vuelta_Larga.pdf
- Geertman, S., Stillwell, J., & Toppen, F. (2013). *Planning Support Systems for Sustainable Urban Development*. Berlin, Germany: Springer. doi:10.1007/978-3-642-37533-0_1
- Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Esmeraldas 2015-2025*. Esmeraldas: GADPE.
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio de Esmeraldas. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Esmeraldas 2012 - 2022*. Esmeraldas: GADME.

- Hernández, Y., & Ramírez, H. (2016). Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca Cay, Ibagué, Tolima, Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26(2), 18.
- Hoyt, H. (1939). *The structure and growth of residential neighborhoods in American cities*. Georgia, USA. Recuperado el 6 de diciembre de 2016, de <https://trid.trb.org/view.aspx?id=131170>
- IUGS. (1997). *Quantitative risk assessment for slopes and landslides - the State of the Art. IUGS Working Group on Landslides, Committee on Risk Assessment, Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment*. Honolulu, Hawäii, USA.
- Jacquin, A., Misakova, L., & Gay, M. (2008). A hybrid object-based classification approach for mapping urban sprawl in periurban environment. *Landscape and Urban Planning*, 84(2), pages 152-165.
- Lozano, C. O. (2009). Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos. En UN/EIRD, *La gestión del riesgo urbano en América Latina: Recopilación de artículos* (1° ed., págs. 235 (57-86)). Panamá: UN/EIRD.
- Maza, C. V. (Mayo de 2009). Clasificación y análisis de la cobertura vegetal sobre la subcuenca Zamora Huayco - Cantón Loja. *Tesis de grado*, 87 pp. Loja, Loja, Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Oñate, V. F. (s.f.). *Estudio de la influencia del crecimiento urbano de la ciudad de Loja en los caudales de crecida en la cuenca del Río Zamora*. Loja, Ecuador.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009). *Análisis de Sistemas de Gestión del Riesgo de Desastres*. Roma: FAO.
- Organizations of American States. (s.f.). *Sistemas de información geográfica en el manejo de peligros naturales*. Obtenido de OAS: <https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea65s/ch10.htm>
- Ornés, S. (2009). El urbanismo, la planificación urbana y el ordenamiento territorial desde la perspectiva del derecho urbanístico venezolano. *Politeia*, 32(42), 197-225.

- Pírez, P. (mayo-agosto de 2013). La Urbanización y la Política de los Servicios Urbanos en América Latina. *Andamios*, 10(22), 45-67.
- Piumetto, M. (2007). Sistemas de información geográfica aplicados al catastro urbano. En L. I. Policy, & D. Erba (Ed.), *Catastro multifinalitario: aplicado a la definición de políticas de suelo urbano* (págs. 241-266). Cambridge, MA.
- Prado, V. É. (3 de Enero de 2015). Estado de la calidad del agua del río Teaone (cuenca baja) entre la Termoeléctrica y la desembocadura del río Esmeraldas, sector de la Propicia 1. Esmeraldas, Ecuador: PUCESE.
- Saldarriaga, M. A. (2016). Estudio de taludes en condiciones dinámicas para áreas urbanas en el cantón Esmeraldas, sector Las Palmas. 134. Sangolquí: ESPE.
- Scherer, M., Costa, M. F., Boski, T., Azeiteiroe, U. M., & Dias, J. A. (2014). Gestión Integrada de Zonas Costeras en América Latina: El nuevo mundo. *Revista de Gestión Costera Integrada*, 14(4), 663-668. Recuperado el 8 de enero de 2017, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=388340109012>
- Secretaría de Gestión de Riesgo. (2014). *Amenaza Movimientos en Masa Escenarios Mensuales*. Quito: Componente Escenarios Sala de Situación Nacional.
- Smith, K., & Petley, D. (2009). *Environmental Hazards: Assessing risk and reducing disaster* (5th ed.). Oxfordshire, England: Routledge.
- Suárez, D. J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. (I. d. Ltda., Ed.) Bucaramanga, Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.
- TELEAMAZONAS. (19 de febrero de 2016). *En Esmeraldas cuatro viviendas fueron destruidas por un deslizamiento de tierra*. Recuperado el 26 de enero de 2017, de <http://www.teleamazonas.com/2016/02/en-esmeraldas-cuatro-viviendas-fueron-destruidas-por-un-deslizamiento-de-tierra/>
- UNESCO. (2011). *Manual de gestión del riesgo de desastre para comunicadores sociales*. Perú.
- Universidad Técnica del Norte. (2013). *Proyecto Análisis de Vulnerabilidades a Nivel Municipal Perfil Territorial Cantón Esmeraldas*. Ibarra: UTN.

- Van den Berg, L., Drewett, R., Klaasen, L., Rossi, A., & Vijverberg, C. (1982). *Urban Europe: a study of growth and decline* (Vol. 1). Oxford, England: Pergamon Press. Recuperado el 6 de diciembre de 2016, de <http://www.popline.org/node/403777>
- Villacreses, R. P., & Ponce, V. V. (Junio de 2012). Propuesta de ordenamiento territorial de la Provincia de Esmeraldas en base a la zonificación ecológica-económica. Sangolquí, Ecuador.
- Water Science and Technology Library. (2016). *Balanced Urban Development: Options and Strategies for Liveable Cities* (Vol. 72). (B. Maheshwari, V. Singh, & B. Thoradeniya, Edits.) Sydney: Springer.
- World Bank. (2016a). *Población Mundial*. Obtenido de The World Bank: <http://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL?end=2015&locations=EC&start=1960>
- World Bank. (2016b). *Ecuador*. Obtenido de The World Bank: <http://datos.bancomundial.org/pais/ecuador>

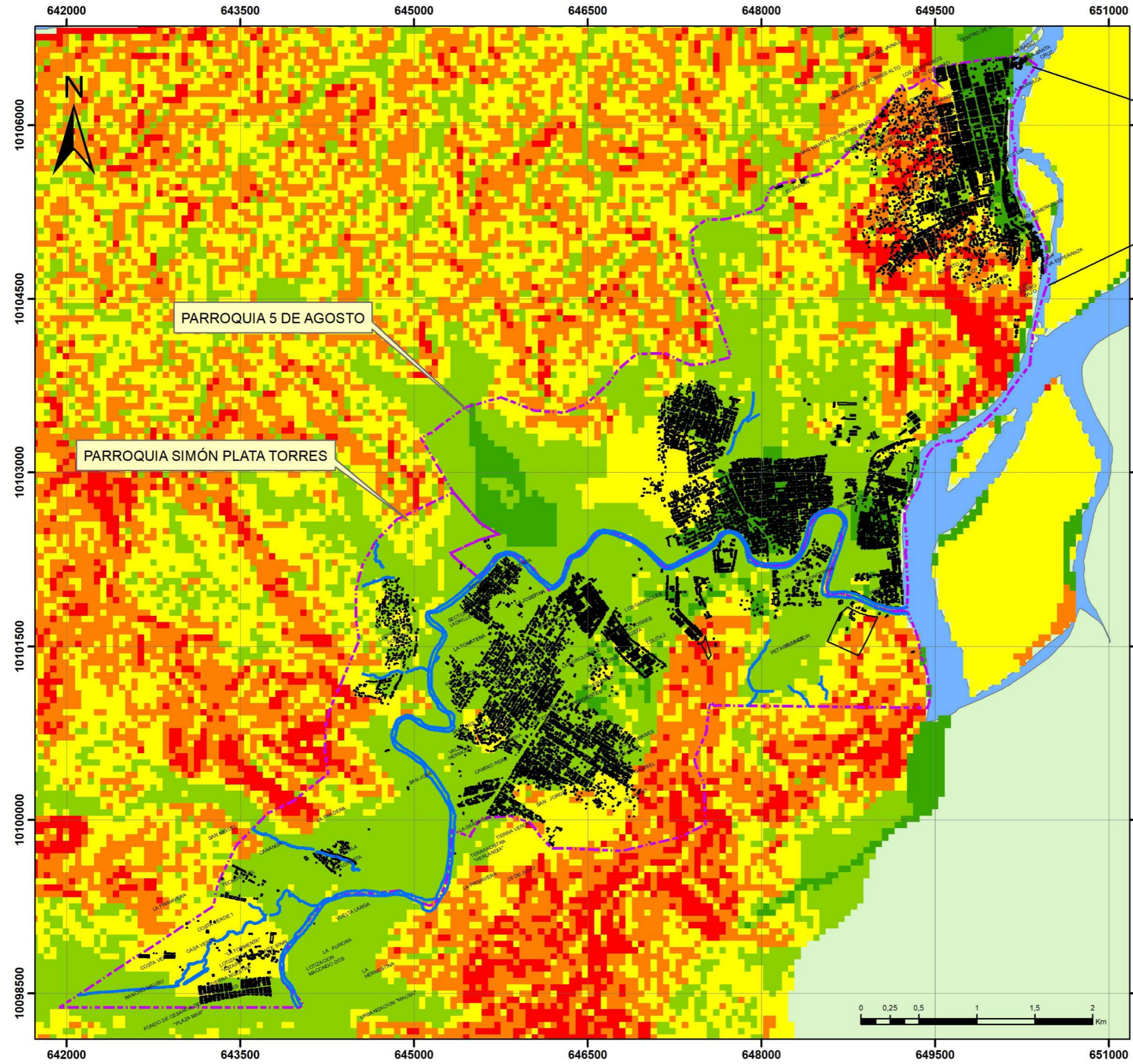
Anexos

Anexo 1. Plano catastral zona de estudio

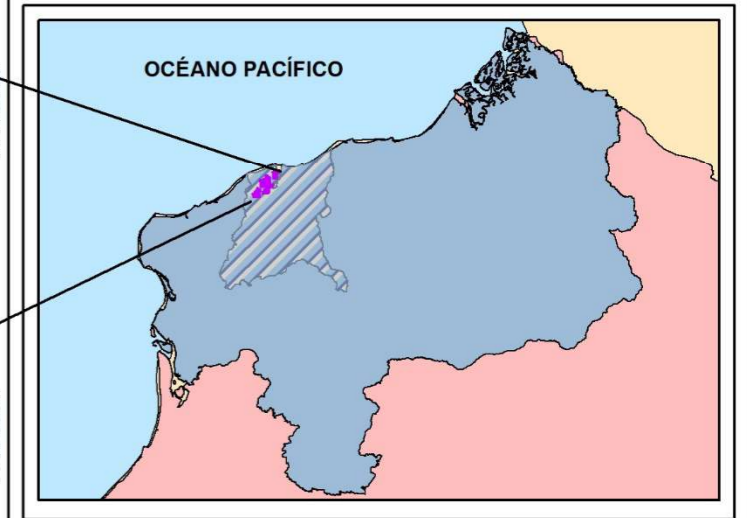


Anexo 2. Mapa de Amenaza de movimientos en masa

MODELAMIENTO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA PARROQUIAS 5 DE AGOSTO Y SIMÓN PLATA TORRES - PROVINCIA ESMERALDAS



UBICACIÓN



SIMBOLOGÍA

	Río Teaone	AMENAZA Nivel		1
	Parroquias en estudio			2
	Construcciones		3	
	Río Esmeraldas		4	
	Cantón Esmeraldas		5	
	Provincia Esmeraldas			
	Otras provincias			
	País Colombia			

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE ESMERALDAS

TÍTULO: ANÁLISIS DE ZONAS DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA E INUNDACIONES EN LAS PARROQUIAS 5 DE AGOSTO Y SIMÓN PLATA TORRES, MEDIANTE EL USO DE SIG, CON LA FINALIDAD DE PROPONER ÁREAS URBANIZABLES.

CONTIENE: MODELAMIENTO DE AMENAZAS DE MOVIMIENTOS EN MASA

AUTOR: AÑAPA FALCONES FABRICIO A. **REVISADO POR:** MGT. JAIME SAYAGO

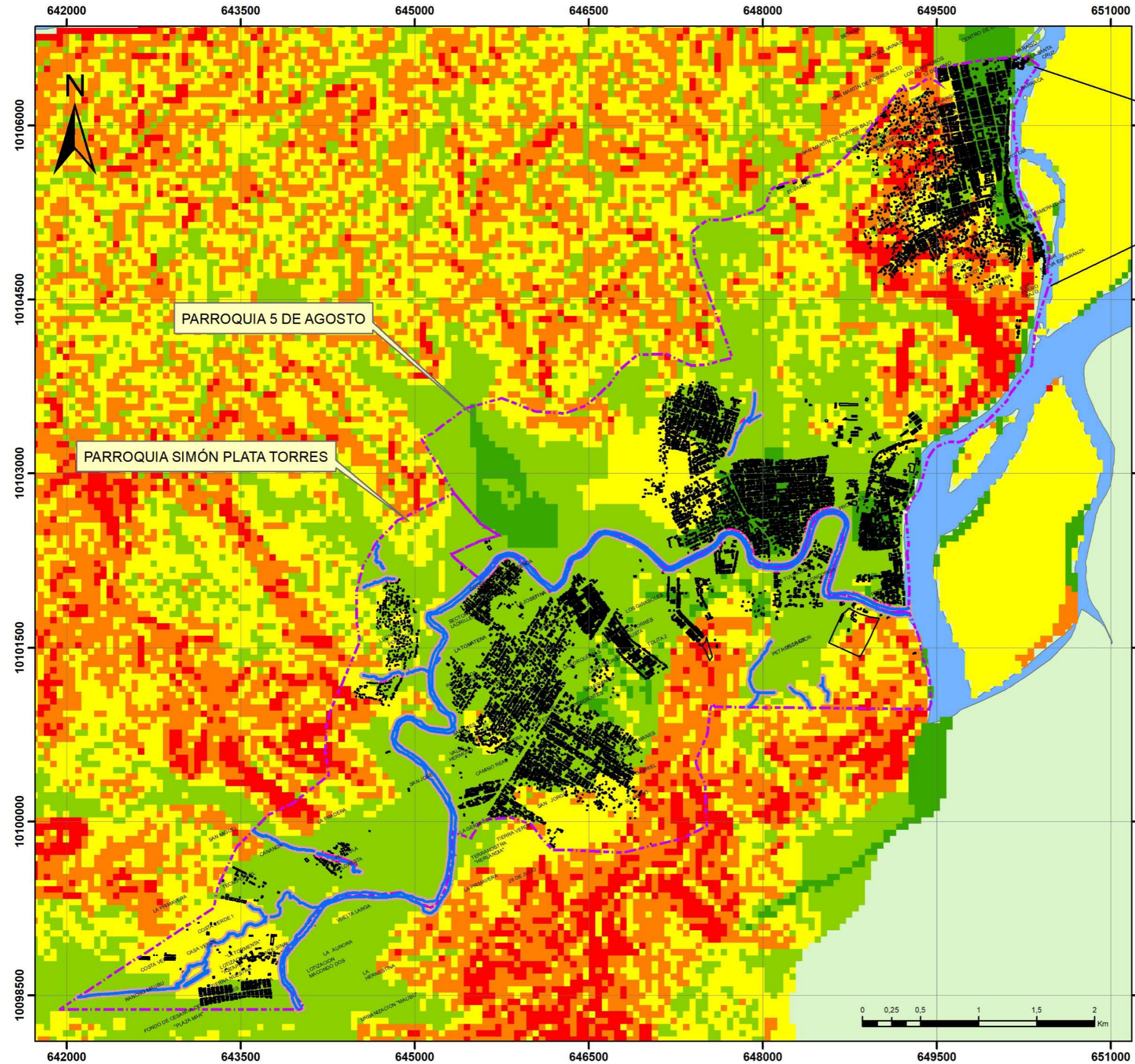
FUENTE: Instituto Geográfico Militar - Ecuador **FECHA:** JUNIO, 2018
Sistema Nacional de Información - Ecuador **ESCALA:** 1:35.000

PROYECCIÓN: UTM WORLD GEODETIC SYSTEM 1984 17 SUR **N° 1_3**

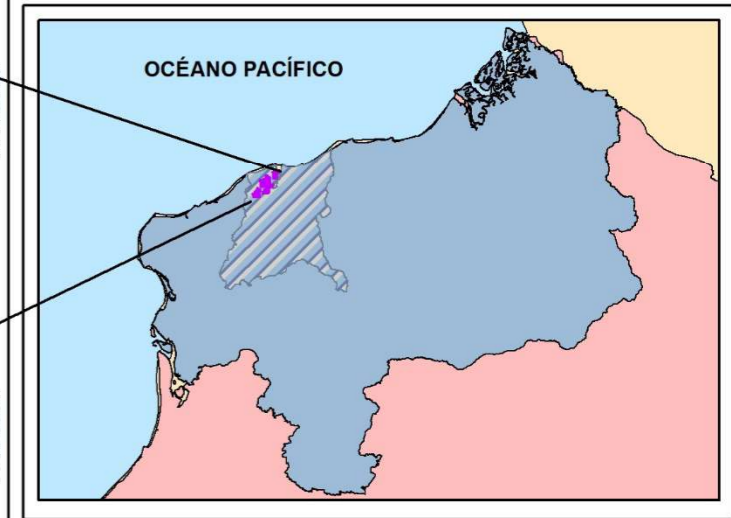
Anexo 3. Mapa de zonas vulnerables a inundaciones

Anexo 4. Mapa de zonas con amenaza de movimientos en masa y zonas vulnerables a inundaciones

MODELAMIENTO DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA Y ZONAS VULNERABLES A INUNDACIONES PARROQUIAS 5 DE AGOSTO Y SIMÓN PLATA TORRES - PROVINCIA ESMERALDAS



UBICACIÓN



SIMBOLOGÍA

	Río Teaone	AMENAZA Nivel		1
	Parroquias en estudio			2
	Intersección buffer&const			3
	Buffer 30m			4
	Construcciones			5
	Río Esmeraldas			
	Cantón Esmeraldas			
	Provincia Esmeraldas			
	Otras provincias			
	País Colombia			

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE ESMERALDAS

TÍTULO: ANÁLISIS DE ZONAS DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA E INUNDACIONES EN LAS PARROQUIAS 5 DE AGOSTO Y SIMÓN PLATA TORRES, MEDIANTE EL USO DE SIG, CON LA FINALIDAD DE PROPONER ÁREAS URBANIZABLES.

CONTIENE: MAPA DE AMENAZAS DE MOVIMIENTOS EN MASA Y ZONAS VULNERABLES A INUNDACIONES

AUTOR: AÑAPA FALCONES FABRICIO A. **REVISADO POR:** MGT. JAIME SAYAGO

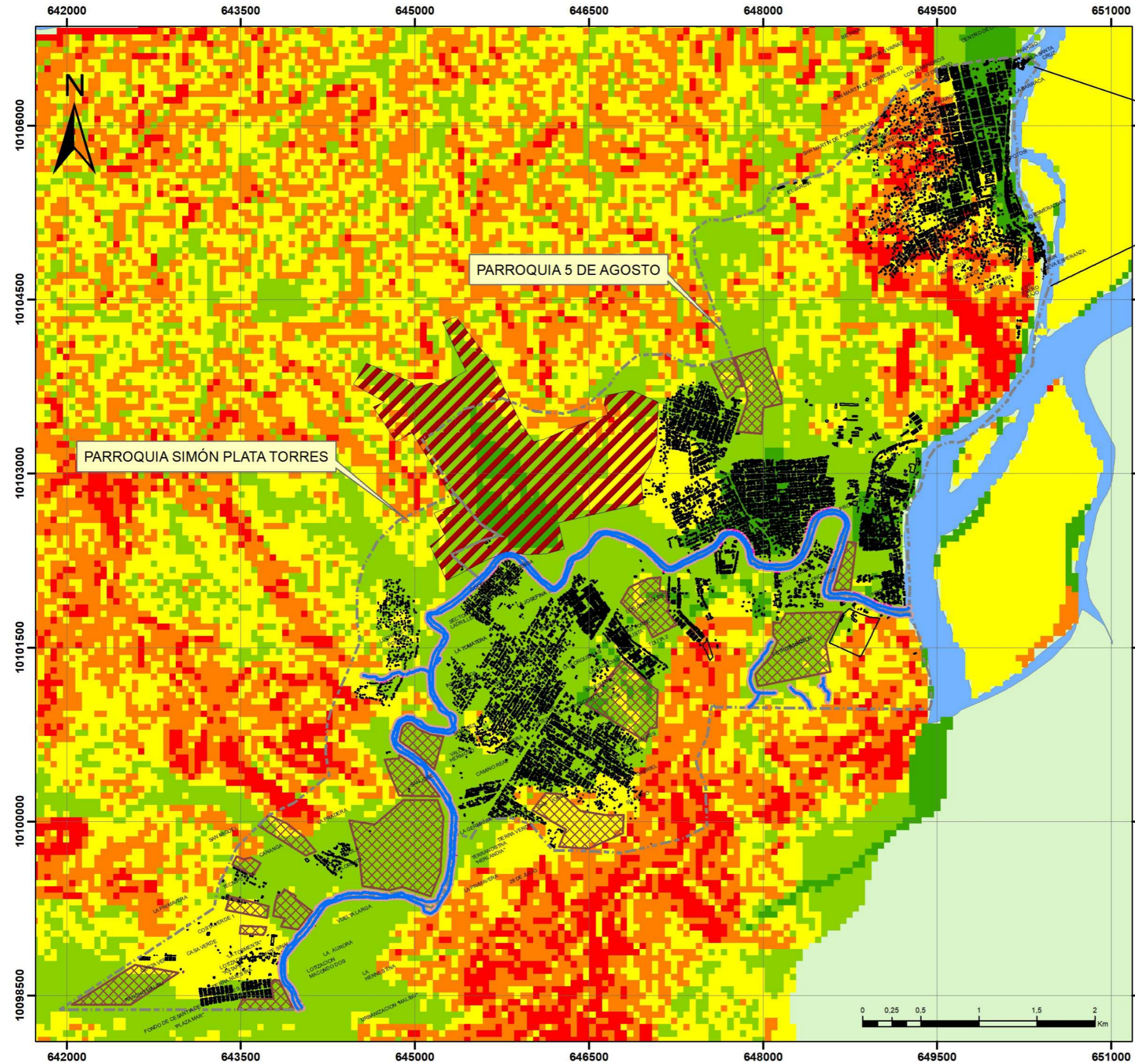
FUENTE: Instituto Geográfico Militar - Ecuador
Sistema Nacional de Información - Ecuador
USGS, EARTHDATA, ESRI

FECHA: JUNIO, 2018
ESCALA: 1:35.000

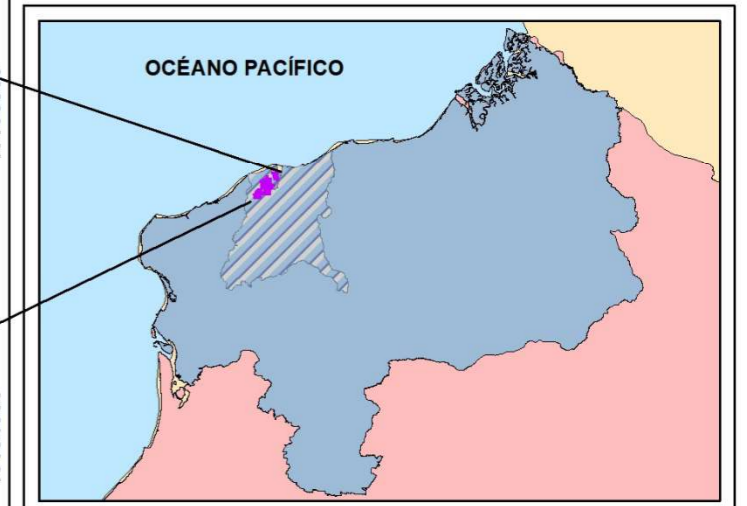
PROYECCIÓN: UTM WORLD GEODETIC SYSTEM 1984 17 SUR **N° 3_3**

Anexo 5. Mapa de áreas propuestas para urbanizar

PROPUESTA DE ÁREAS URBANIZABLES SEGÚN AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA Y ZONAS VULNERABLES A INUNDACIONES



UBICACIÓN



SIMBOLOGÍA

Río Teaone	Río Esmeraldas
Parroquias en estudio	
Áreas urbanizables	AMENAZA Nivel
Zona Industrial	
Intersección buffer&const	
Buffer 30m	
Construcciones	
Cantón Esmeraldas	1
Provincia Esmeraldas	2
Otras provincias	3
País Colombia	4
	5

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE ESMERALDAS

TÍTULO: ANÁLISIS DE ZONAS DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA E INUNDACIONES EN LAS PARROQUIAS 5 DE AGOSTO Y SIMÓN PLATA TORRES, MEDIANTE EL USO DE SIG, CON LA FINALIDAD DE PROPONER ÁREAS URBANIZABLES.	
CONTIENE: ÁREAS URBANIZABLES	
AUTOR: AÑAPA FALCONES FABRICIO A.	REVISADO POR: MGT. JAIME SAYAGO
FUENTE: Instituto Geográfico Militar - Ecuador Sistema Nacional de Información - Ecuador USGS, EARTHDATA, ESRI	FECHA: JULIO, 2018
PROYECCIÓN: UTM WORLD GEODETIC SYSTEM 1984 17 SUR	ESCALA: 1:35.000