



Universidad de Cuenca

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Generación de mapas temáticos de zonas de riesgo en ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador a través de herramientas de geoprocresamiento como elemento innovador para la ordenación urbanística

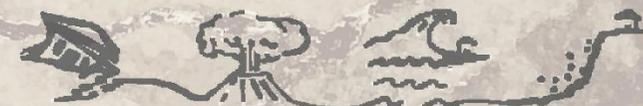
Trabajo previo a la obtención del título de Arquitecta

María Belén Vega Medina
010599523-7
Autora

Arq. Lorena Regina Vivanco Cruz
110346981-1
Directora

Ing. Luis Antonio Matute Díaz
010249420-0
Asesor

Julio - 2018







Resumen

Es sólo en los últimos años que se ha comenzado a tomar en cuenta el análisis de las zonas de riesgo dentro de los planes de ordenamiento urbano de las ciudades de la Sierra del Ecuador, plantando nuevos cimientos pero denotando que aún queda mucho por hacer, con esta aproximación se ha visto necesario implementar una metodología para generar mapas temáticos de zonas de riesgo en ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador a través de geoprocésamiento con el fin de brindar nuevas herramientas que permitan a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales tomar decisiones en base a información verificada y confiable.

Para la creación de esta nueva metodología se ha realizado una investigación sobre la gestión de información referente a riesgos en el país, se ha efectuado un acercamiento y análisis a otras metodologías ya existentes aplicadas en territorio y ciudad, y

adicionalmente se ha consultado con expertos de diferentes disciplinas de la región en relación con riesgos para obtener una mirada completa desde distintos puntos de vista y conseguir los mejores resultados posibles.

Se ha aplicado la metodología propuesta en la ciudad de Cuenca generando varios mapas temáticos que permita entender las zonas de riesgo en la ciudad, los cuales de ninguna manera buscan reemplazar el trabajo realizado por técnicos conocedores de la materia, sino que busca tener un primer acercamiento de la conformación del territorio y la susceptibilidad de riesgos a los que está expuesto para posteriormente realizar estudios de detalle y tomar en cuenta a la hora de planificar la ciudad.

Palabras clave: riesgos, amenaza, vulnerabilidad, metodología, geoprocésamiento.



Abstract

In recent years the analysis of the risk areas within the urban planning plans in the cities located in the Sierra here in Ecuador have been taken into account, setting new foundations, however, there is still much to be done. With this approach has been forced to implement a methodology to generate maps of risky areas in the intermediate cities in the Sierra through geoprocessing in order to give new tools that allow the Autonomous Decentralized Municipal Governments to make decisions based on the verified and reliable information.

For the creation of this new methodology, an investigation has been carried out focused on the management of information regarding risks in the country, also an approach and analysis have been made, including other methodologies already applied in

the territory and city. Moreover, the information consulted had been consulted with experts from different disciplines of the region in relation to risks to obtain a complete view of different points of view and get the best possible results.

The methodology proposed above has been applied in Cuenca, through several thematic maps that allow understanding the risk areas in the city, which in no way can replace the work done by the technicians with knowledge of the subject, but it seeks a first approach to the structure of the territory and the susceptibility of risks to which it is exposed to carry out detailed studies and take into account when planning the city.

Keywords: risks, threat, vulnerability, methodology, geoprocessing.





Índice

Agradecimientos	10	2.1.2. Propuesta metodológica: análisis de amenaza ante movimientos en masa	46
Dedicatoria	11	2.1.2.1. Factores incidentes para el análisis de amenaza ante movimientos en masa	47
Introducción	12	2.1.2.1.1. Densidad estructural	47
Capítulo I. Precedente conceptual previo a abordar metodologías de zonas de riesgo	15	2.1.2.1.2. Pendiente del terreno	48
Introducción	15	2.1.2.1.3. Índice de estabilidad	48
1.1 Las zonas de riesgo en áreas urbanas de ciudades intermedias	19	2.1.2.1.4. Precipitación	49
1.1.1. Ciudades intermedias en Latinoamérica	20	2.1.2.1.5. Geología – litología	49
1.1.2. Ciudades intermedias del Ecuador	22	2.1.2.6. Suelo – textura	49
1.2 Disponibilidad y gestión de la información cartográfica para determinar zonas de riesgo	25	2.1.2.7. Profundidad efectiva	50
1.3. Geoprocesamiento en la planificación urbana y gestión de riesgos	33	2.1.2.2. Elaboración del método cartográfico	50
Capítulo II. Aproximación metodológica para entender las zonas de riesgo	39	2.1.2.3. Análisis multicriterio	51
Introducción	41	2.1.2.4. Categorización del modelo de amenaza ante movimientos en masa	53
2.1. Metodología utilizada por la Secretaría de Gestión de riesgos (SGR)	43	2.2. Método de Brabb	55
2.1.1. Propuesta metodológica: análisis de amenaza por inundación	44	2.3. Método de Mora – Vahrson	61
		2.3.1. Clasificación de factores según método Mora – Vahrson	61
		2.3.1.1. Factores pasivos	61
		2.3.1.2. Factores desencadenantes	61
		2.3.2. Descripción de factores según método Mora – Vahrson	62



2.3.2.1. Parámetro de susceptibilidad litológica	62	3.2.1.7. Pendientes – Topografía	91
2.3.2.2. Parámetro de humedad del suelo del terreno	63	3.2.1.8. Unidades geológicas/litológicas	92
2.3.2.3. Parámetro de pendientes del terreno	64	3.2.1.9. Vegetación – cobertura vegetal	93
2.3.2.4. Parámetro detonante de precipitación	65	3.2.2. Vulnerabilidad	94
2.3.2.5. Parámetro detonante de sismicidad	65	3.2.2.1. Altura de edificación – características de edificación	94
2.3.3. Interpretación de resultados	65	3.2.2. Densidad poblacional	94
2.4. Síntesis de metodologías estudiadas	71	3.2.2.3. Infraestructura para servicios de agua	95
Capítulo III: Propuesta metodológica para generación de mapas temáticos de zonas de riesgos en ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador	75	3.2.2.4. Equipamientos de emergencia	96
Introducción	77	3.2.2.5. Usos de suelo	97
3.1. Definición de variables influyentes para la zonificación de riesgo	79	3.3 Desarrollo metodológico	99
3.2 Caracterización de variables incidentes para la definición de zonas de riesgo	83	3.3.1. Amenazas	99
3.2.1. Amenazas	83	3.3.1.1. Amenaza geológica	99
3.2.1.1. Cuerpos de agua	83	3.3.1.2. Amenaza sísmica	99
3.2.1.2. Fallas geológicas – sismo de diseño	84	3.3.1.3. Amenaza hidrológica	99
3.2.1.3. Intensidad de lluvias	85	3.3.1.4. Amenaza volcánica	100
3.2.1.4. Inventario de fenómenos de remoción de masas	87	3.3.2. Relevancia según factor	100
3.2.1.5. Microzonificación sísmica – efecto de sitio´	89	3.3.3. Disponibilidad e inversión de recursos	101
3.2.1.6. Peligro volcánico	90	3.3.4. Asignación de ponderación según factor	103
		3.3.5. Formulación del método	108



3.4. Metodología aplicada a la planificación urbana	111	4.2 Geoprocesamiento de la información para determinar zonas de riesgo	145
Capítulo IV. Aplicación de la metodología para generar mapas temáticos de zonas de riesgo	113	4.2.1. Geoprocesamiento de geoinformación	145
Introducción	115	4.2.2. Modelos de geoproceso	157
4.1 Definición del área urbana a aplicar la metodología	117	4.2.2.1. Modelo lógico del geoproceso	157
4.1.1. Amenazas	118	4.2.2.2. Modelo físico del geoproceso	157
4.1.1.1. Cobertura vegetal	118	4.3 Resultados y mapas temáticos	161
4.1.1.2. Cuerpos de agua	120	4.3.1. Amenaza geológica	162
4.1.1.3. Fallas geológicas – sismo de diseño	122	4.3.2. Amenaza sísmica	164
4.1.1.4. Intensidad de lluvias	124	4.3.3. Amenaza hidrológica	166
4.1.1.5. Inventario de fenómenos de remoción de masas	126	4.3.4. Amenaza	168
4.1.1.6. Microzonificación sísmica – efecto de sitio	128	4.3.5. Vulnerabilidad	170
4.1.1.7. Pendientes – topografía	130	4.3.6. Riesgo	172
4.1.1.8. Unidades litológicas	132	Conclusiones	175
4.1.2. Vulnerabilidades	134	Bibliografía	179
4.1.2.1. Altura de edificación – características de edificación	134	Índice de figuras	184
4.1.2.2. Densidad poblacional	136	Índice de tablas	187
4.1.2.3. Infraestructura para servicios de agua	138	Índice de fotografías	189
4.1.2.4. Equipamientos de emergencia	140		
4.1.2.5. Uso de suelo	142		



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, María Belén Vega Medina, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Generación de mapas temáticos de zonas de riesgo en ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador a través de herramientas de geoprocésamiento como elemento innovador para la ordenación urbanística", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 10 de Julio del 2018.

María Belén Vega Medina

C.I: 010599523-7

Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, María Belén Vega Medina, autora del trabajo de titulación "Generación de mapas temáticos de zonas de riesgo en ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador a través de herramientas de geoprocésamiento como elemento innovador para la ordenación urbanística", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 10 de Julio del 2018.

María Belén Vega Medina

C.I: 010599523-7



Agradecimientos

Agradezco a mi directora de tesis, la Arq. Lorena Vivanco Cruz, por su guía y apoyo a lo largo de esta investigación, porque a pesar de los obstáculos siguió confiando en mí y aconsejándome tanto personal como académicamente.

Agradezco al Ing. Luis Antonio Matute por su acompañamiento constante, paciencia y entrega incondicional de sus conocimientos desde el principio de esta investigación, por aceptarme en su oficina cada vez que podía y darme la instrucción y el tiempo necesarios para hacerme comprender temas muchas veces ajenos a mi formación.

Agradezco a todas las personas, amigos y profesionales, que de alguna manera colaboraron para poder obtener los mejores resultados.



Dedicatoria

Se la dedico principalmente a mi madre, Aracely, porque siempre fue el pilar, el mejor ejemplo y mi mayor inspiración como ser humano para seguir adelante, durante toda mi carrera, en las buenas, en las malas y sé que seguirá estando ahí.

A mi familia, hermanos, cuñadas, padre, abuelita y sobrino, porque no han dudado en ayudarme cuando lo he necesitado, ofreciendo su mano sin pensarlo dos veces.

A mis amigos y compañeros que han estado pendientes, me han apoyado y han visto día a día mis esfuerzos, y sobre todo no me han dejado quebrantar.



Introducción

El documento tiene como objetivo principal “Implementar una metodología para generar mapas temáticos de zonas de riesgo en ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador”, entendiendo como implementar a “aplicar métodos [...] para llevar algo a cabo” (Real Academia Española, 2018), para su cumplimiento se desarrolla en cuatro capítulos una inmersión a los temas a tratar en relación a manejo de geoinformación, ciudades intermedias y riesgos, posteriormente analiza metodologías existentes para evaluar y zonificar riesgos de diferente naturaleza en el territorio para proponer un nuevo método para cumplir el objetivo de definir zonas de riesgo en ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador, y finalmente aplica la metodología en una ciudad que cumpla con las características descritas, describe los geoprocesos y muestra resultados.

Se ha identificado que en algunas regiones del país ya se ha indagado el tema de la zonificación de riesgos, sin embargo, las mismas están dirigidas a una escala territorial, y sabiendo que el

mayor porcentaje de población del Ecuador es urbana, además de la existencia de migración interna de áreas rurales a ciudades es cada vez mayor se debe solventar por medio de la planificación urbana la identificación de los riesgos a los que están expuestas y las propuestas para su mitigación, adicional a ello las metodologías utilizadas exigen grandes capitales financieros y esfuerzos humanos para obtener resultados, elementos con los que muchos de nuestros municipios no cuentan.

La época en la que vivimos obliga a explorar nuevas formas de generar información, es por esto por lo que se busca obtener datos y resultados que permitan tomar decisiones en relación con los riesgos, y a través de ellos asegurar el bienestar común de la población y realizar las acciones necesarias para mitigar pérdidas humanas y materiales en caso de suscitarse fenómenos naturales que pongan en peligro a la ciudad.

Esta investigación incorpora las nuevas tecnologías como elemento innovador, para ello se plantea la aplicación de geoinformación de manejo público, ya validada por profesionales de cada una de las disciplinas, dependiendo de la naturaleza de la información para obtener información nueva, útil, rápida, verificada y a bajo costo, que permitan tomar partido de manera confiada y acertada a las autoridades competentes.



Objetivos

Objetivo general

- Implementar una metodología para generar mapas temáticos de zonas de riesgo en ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador.

Objetivos específicos

- Definir variables que permitan la generación de mapas temáticos de zonas de riesgo en ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador.
- Proponer una metodología para generar mapas temáticos de zonas de riesgo a partir del geoprocesamiento de información.
- Generar mapas temáticos para entender las zonas de riesgo en ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador a partir de la metodología generada como elemento innovador para la ordenación urbanística.

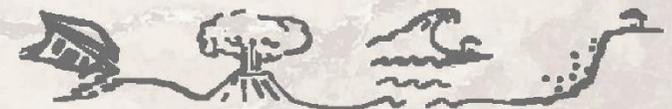




Capítulo I

Precedente conceptual previo a abordar metodologías para definición de zonas de riesgo

M. Belén Vega Medina
Autora







Capítulo I: Precedente conceptual previo a abordar metodologías para definición de zonas de riesgo

Previo al análisis metodológico y posterior propuesta es necesario conocer algunos conceptos y definiciones acordes al tipo de investigación que se va a realizar. Asimismo, conocer y reconocer los temas que han permitido sentar las bases de las metodologías ya existentes y por proponer.

En primer lugar, se realiza un acercamiento a la realidad de las ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador, para entender la realidad sobre la cuál se va a aplicar la metodología propuesta y comprender los sistemas y peculiaridades que en ellas existen.

Con respecto a la utilización de la información oficial georreferenciada es fundamental y necesario para la presente

investigación una introducción sobre el manejo de geoinformación y su disponibilidad en el medio, sobre todo en lo relacionado a investigación e indagación de nuevos conocimientos; así se hace un acercamiento y explica el tipo de dirección y coordinación de los entes administrativos del país y los gobiernos autónomos descentralizados municipales. El uso de la geoinformación es nueva en el ámbito público, además de la utilización de esta en los procesos de toma de decisiones con información veraz y actualizada, es de importancia el manejo de la misma, en relación a la gestión de riesgos pues se ha visto la urgencia y necesidad de contar con ella, debido a que por mandato legal los gobiernos locales están obligados a disponer de información para el manejo de riesgos, además de un insumo básico para los procesos de planificación urbana.

El instrumento principal que va a permitir que la propuesta metodológica sea una innovación a las herramientas que se utilizan actualmente es el uso de geoprocésamiento, este tema puede ser difícil de comprender si no se lo ha estudiado previamente o se conoce el tipo de proceso que este conlleva, por lo cual se expondrá una aproximación a la temática.





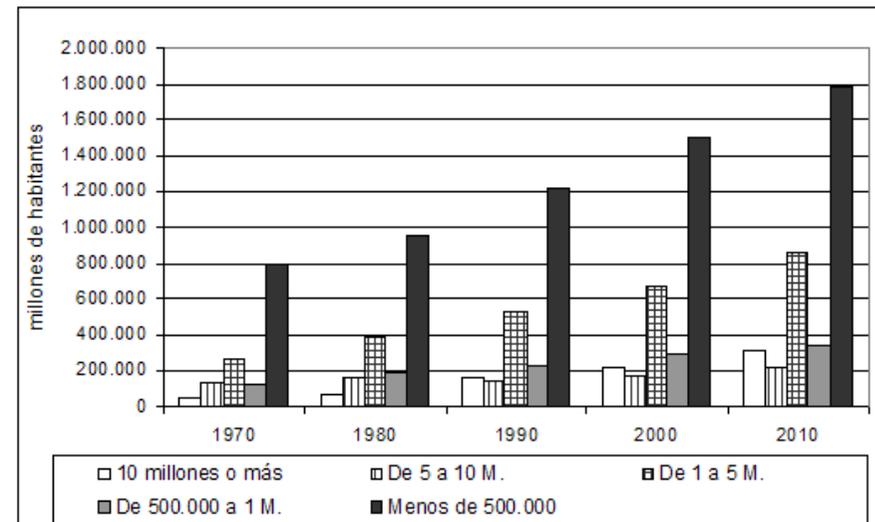
Poco a poco las ciudades intermedias fueron conformándose como punto de interés, respondiendo al hecho que el mayor porcentaje de población se encuentra en este tipo de ciudades. Para Bellet y Llop (2004) solo hay 442 ciudades de más de un millón de habitantes, pero 10.000 ciudades de más de 50.000 habitantes, argumentando así, que el futuro de la población urbana para un desarrollo sostenible se ve reflejado en ellas.

Figura 1.1.1. Evolución de la población urbana según la dimensión del núcleo.

1.1. Las zonas de riesgo en áreas urbanas de ciudades intermedias

No es hasta los últimos años, que se ha considerado a las ciudades intermedias dentro de los estudios urbanos o de planificación. Las ciudades donde se ponía el interés científico y de desarrollo era en las grandes urbes y metrópolis, los sitios que los investigadores analizaban, la gente visitaba, los cineastas grababan y los grandes eventos tenían cabida, según (Bellet y Llop, 2004) las grandes ciudades son las más estudiadas, conocidas, admiradas/repudiadas, filmadas y reproducidas en el cine, las artes y los medios audiovisuales, condiciones que en últimos años ha cambiado.

Dentro de este subcapítulo ha realizado un acercamiento general en primera instancia al termino ciudad intermedia, para luego realizar un acercamiento a este tipo de ciudad en Latinoamérica y posteriormente en el Ecuador.



Fuente: (United Nations Secretariat, 2002)

Elaboración: (Bellet & Llop, 2004):



Las ciudades intermedias no sólo cuentan con menor población, sino por consecuencia generalmente menor extensión, esto implica que las problemáticas que enfrenta un individuo en la vida diaria son menores, por ejemplo, el transporte de un lugar a otro, en las ciudades intermedias se los puede realizar a pie «periodos menores a una hora», sin embargo, en las grandes ciudades, por las extensiones que se deben cruzar para cumplir con actividades cotidianas, el tiempo de traslado se triplica.

La definición de ciudad intermedia es muy ambigua, y ha costado definirla, puesto que lo que puede ser una ciudad intermedia en Europa o Latinoamérica, puede representar otra realidad en países como China, la India, entre otros. Por consiguiente, delimitar la definición de ciudad intermedia a un rango del número de habitantes o de extensión en área sería un error. Más aún, a criterio de Solís (1997) resulta importante considerar que el término de ciudad media no consiente únicamente a la cantidad de habitantes que viven en ella [...]; también se definen a partir de su relación con una región o nación.

Por lo antes expuesto, para definir si una urbe tiene las características de ciudad intermedia, se toman en consideración cuatro puntos específicos. El primero se refiere al número de habitantes y su distribución; en segundo lugar se valora las funciones espaciales que ejerce la ciudad, dejando claro que esto, es independiente del tamaño de la población, los sistemas urbanos pueden desempeñar procesos específicos de cooperación o dependencia con otros sitios de igual, menor o

mayor importancia, por lo cual, su presencia es clave; como tercer elemento se identifica el nivel de complejidad del centro urbano; y como último punto se analiza su escala espacio – temporal, discerniendo que cada ciudad evoluciona por las propiedades y actividades propias que se desarrollan en ella, entendiendo que, lo que actualmente es una ciudad intermedia, en un futuro podría no serlo.

Como elemento clave de las características que debe tener la ciudad se habla de la función que desempeña dentro del sistema, se observa que, la población rural en su generalidad mira a este tipo de localidad como una oportunidad para salir de la “pobreza” de lo rural, donde puede encontrar empleo, nuevas conveniencias, un lugar donde su familia podrá desenvolverse de mejor manera, entre otros; por ello, la población rural busca ciudades en crecimiento para comenzar su nueva vida, evidenciando que cumple con más funciones de las que se pueden exhibir a simple vista. Entonces, las ciudades intermedias tienen un papel principal dentro del desarrollo y la planificación, más no, un papel secundario como se lo ha tratado por mucho tiempo.

1.1.1. Ciudades intermedias en Latinoamérica

Aunque no se puede generalizar, se observa en múltiples casos en ciudades intermedias latinoamericanas, que la gestión por parte de la administración pública es más eficiente y manejable que en el caso de las ciudades metropolitanas, observando varias ventajas como: economías a menor escala y más eficientes, relación sustentable entre los habitantes y su entorno

natural, además, de una gestión con mayores grados de participación ciudadana. Adicional a esto, en una publicación de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe se afirma que: “el tamaño, el ritmo y la estructura morfológica del crecimiento de las áreas metropolitanas serían los responsables del surgimiento de problemas que hoy se nos presentan como infranqueables [...] en ese sentido, las ciudades intermedias representan una esperanza de poder evitar ese resultado” (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 1998).

Al acercarse a la realidad Latinoamérica, en busca de profundizar el concepto de ciudad intermedia, se encuentra nuevamente diferencias en la definición de las características según cada autor -refiriéndose a tamaño de población y extensión territorial-.

Ejemplificando, la Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES), define a la ciudad intermedia donde existen un número de entre 500.000 y 2'000.000 de habitantes, por otro lado, el Programa Américas la define como aquellas que tengan una población que oscila entre 20.000-50.000 habitantes a 500.000 y hasta 1'000.000; y sean intermedias entre zonas rurales y urbanas con base a las relaciones de flujos de bienes, información y administración. Pues bien, en el análisis de las ciudades latinoamericanas de Jordán y Simioni (1998) se distinguen como intermedias a las ciudades con dimensiones entre los 50.000 a 1'000.000 de habitantes, denotando la diferencia según cada autor al delimitar un concepto final de ciudad intermedia (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 1998).

Figura 1.1.2. Ciudades en Latinoamérica según población.



- 100 a 500 mil habitantes
- 500 mil a 1 millón de habitantes
- 1 a 2 millones de habitantes

Fuente: (A partir de Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES) / Google Maps, 2017.)



Con los ejemplos antes explicados, se entiende que las ciudades intermedias en Latinoamérica pueden tener diferentes características según quien las precise, indicando que las realidades son diferentes a continentes como Asia y Europa. Se debe recalcar, que la definición no se limita a un número de habitantes, sino se debe observar el rol que cumple, el tipo de administración, las relaciones con ciudades mayores y menores, entorno, importancia jerárquica en el país o región, entre otras características que identifican este tipo de ciudades.

1.1.2. Ciudades intermedias en Ecuador

El Ecuador presenta una realidad diferente a la generalidad de Latinoamérica, como ya se ha visto, es necesario hacer un análisis del entorno y el contexto donde se va a realizar el estudio de ciudades. Para la presente investigación, además, de tomar en cuenta el número de habitantes se revisó estudios previos realizados por entes públicos, dado que, el tipo de información que se analizó es de carácter oficial.

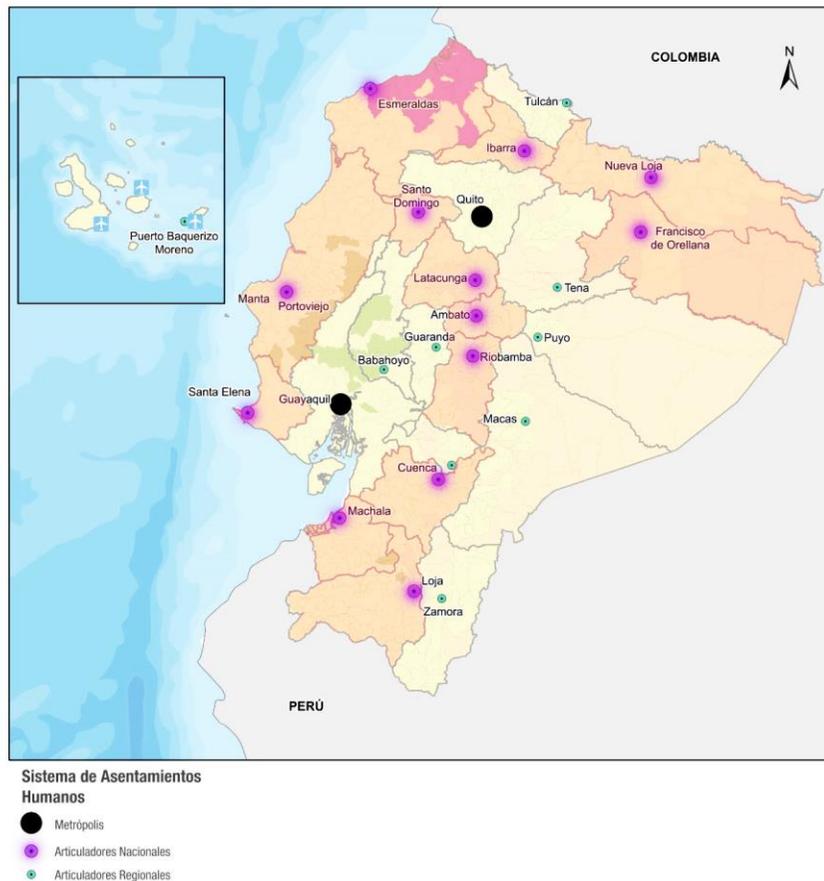
Considerando que la planificación nacional obliga a concertar los planes de ordenamiento a nivel de país, región, provincia, ciudad y parroquias, consecuentemente, de modo que se agrupe y promueva el avance multidimensional de los diferentes sistemas urbanos, y que el objetivo de este estudio comprende la tecnificación del geoproceso sujeto a la creación de mapas, insumos primordiales para la planificación de los riesgos en el país, el mismo, se debe articular con elementos de planificación macro a nivel nacional, siendo en este caso el Plan Nacional de

Desarrollo 2017 – 2021, realizado por el ente rector de planificación nacional, la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES).

En el Plan Nacional de Desarrollo, dentro del capítulo Estrategia Territorial Nacional, se realiza un acercamiento a la realidad del país, sus características y relaciones entre asentamientos; considerando que entre los atributos estudiados de las ciudades intermedias se observa la gama de bienes y servicios ofrecidos en los asentamientos, la atracción poblacional que éstos ejercen, número de equipamientos, ocupación de la Población Económicamente Activa (PEA), articulación con otros asentamientos, redes de conexión, distribución poblacional, entre otros. Profundizando el análisis en el contexto ecuatoriano, se encuentra asentamientos cuya función coincide con las características y cualidades ya establecidas para ciudades intermedias.

Con este antecedente, es necesario optimizar procesos y utilizar análisis de información existente, en este caso, particularmente a los asentamientos definidos con las siguientes características: alto desarrollo de funciones relacionadas con actividades comerciales e industriales y prestación de servicios públicos complementarios a los ofrecidos en los asentamientos humanos de menor jerarquía, nombrados como “Articuladores Nacionales”, según la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2017).

Figura 1.1.3. Jerarquía de los asentamientos humanos



Fuente: A partir de Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017.

De esta forma, y volviendo al objetivo de la investigación, que prioriza el estudio de las localidades ubicados en la Sierra

ecuatoriana, se logró definir las ciudades que cumplen con las características de ciudad intermedia, en la cual se busca aplicar la metodología que se propondrá posteriormente. Por lo tanto, los asentamientos definidos como ciudades intermedias en Ecuador son:

Costa: Esmeraldas, Portoviejo, Santa Elena y Machala.

Sierra: Ibarra, Santo Domingo, Latacunga, Ambato, Riobamba, Cuenca, Loja

Amazonía: Nueva Loja y Francisco de Orellana.

Demostrando que la región del Ecuador que mayor número de ciudades intermedias presenta es la Sierra Ecuatoriana, posee características geológicas diferentes por estar ubicadas en el cordón andino y sus cadenas montañosas, proximidad con los volcanes más importantes del país y desde el punto de vista de la planificación son polos de desarrollo urbano.

Como puntos focales del desarrollo de las ciudades, donde gran cantidad de la población rural migra, se debe brindar especial atención a estas ciudades, por lo que dentro de la planificación se evidencia la urgencia de incorporar la susceptibilidad a los riesgos. Habiendo demostrado que las ciudades intermedias son donde mayor número de pobladores albergan, el manejo y control de las amenazas y vulnerabilidades debe presentar una prioridad para los gobiernos municipales, la densidad poblacional dentro de los límites urbanos de la ciudad es en gran magnitud mayores a los existentes en las áreas rurales, por lo que



la vulnerabilidad crece en la misma proporción, convirtiéndolo también en un foco inerte.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deben incorporar en su plan de ordenamiento urbano la mitigación de riesgos ante amenazas, el Plan Estratégico Institucional 2014-2017 de la Secretaría de Gestión de Riesgos (Actualización 2016), entre sus objetivos estratégicos institucionales busca incrementar a 221 cantones que cuenten con Unidades de Gestión de Riesgos, partiendo como línea base, en el 2015, con 155 gobiernos municipales, de modo que, incorporen la gestión de riesgos en sus planes, firmando convenios e implementando un modelo integral de planificación.

Los gobiernos de las ciudades intermedias deben ser los pioneros en planificación de asentamientos urbanos y la incorporación de la gestión de riesgos, de esta manera, municipios más pequeños puedan aprender de ellos e incorporar estos ejemplos en sus propios planes. Por su parte el gobierno central debe buscar herramientas para facilitar la integración de los riesgos en la planificación, por lo que esta investigación busca sentar las bases para que los gobiernos municipales de los diferentes cantones puedan acceder en primera instancia a una visión preliminar del territorio en función de las amenazas, vulnerabilidades y riesgos.



Figura 1.2.1. Principales desastres naturales en el Ecuador, 1982 – 2008.

RECUADRO 1. PRINCIPALES DESASTRES NATURALES EN EL ECUADOR (1982-2008)		
Desastre	Año	Principales efectos sociales y económicos
Fenómeno El Niño	1982	307 fallecidos, 700 000 afectados, carreteras destruidas.
Terremoto en la región Amazónica	1987	3 500 fallecidos, 150 000 afectados, rotura de oleoductos y daños estimados en 890 millones de USD.
Deslizamiento La Josefina	1993	100 fallecidos, 5 631 afectados, 741 viviendas destruidas, graves daños en cultivos, infraestructuras públicas y red vial, pérdidas económicas directas estimadas en 148 millones de USD.
Fenómeno El Niño	1997-98	293 fallecidos, 13 374 familias afectadas, daños estimados en 2 882 millones de USD (equivalente al 15% del PIB de 1997).
Erupción del volcán Guagua Pichincha	1999	2 000 personas desplazadas, daños en la salud y cierre del aeropuerto de Quito.
Erupciones del volcán Tungurahua	desde 1999	En 1999: 20 000 evacuados, pérdidas estimadas en 17 millones de USD en el sector agrícola y en 12 millones en el turístico. Desde 2001, 50 000 personas evacuadas y daños en la salud de los afectados por las emisiones de ceniza, graves pérdidas económicas.
Inundaciones en gran parte del país	2008	62 fallecidos, 9 desaparecidos, 90 310 familias afectadas, carreteras destruidas, 150 000 ha de cultivos perdidos, daños incalculables.

Fuente: Jordán & Asociados, Estudio: desastres naturales y tenencia de la tierra de los pobres, 2008.

1.2 Disponibilidad y gestión de la información cartográfica para determinar zonas de riesgo

“El Ecuador se encuentra situado en una de las zonas de más alta complejidad telúrica del mundo, en el punto de convergencia de las placas de Nazca y Sudamérica” (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017), por esta y por otras razones el país no está exento de posibles desastres naturales, sino más bien, es susceptible de ellos. Si bien, históricamente no ha sido afectado por grandes tornados o tormentas, sí se ha visto perjudicado por fenómenos meteorológicos como el Fenómeno del Niño, inundaciones, sismos y erupciones volcánicas, por lo que, es deber del Estado, generar herramientas y medios que minimicen este tipo de desastres, para que se vean afectados el menor número de personas posibles.

Fuente: (Food and Agricultura Organization of the United Nations, 2018)

En los últimos años es donde se denota una clara iniciativa de instaurar leyes y reglamentos fuertes para legislar el manejo de riesgos en la planificación urbana de las ciudades del Ecuador; hace poco no era una prioridad para los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GAD), sin embargo, a partir del análisis de los principales desastres naturales en Ecuador, se ha visto preciso que las intervenciones urbanas incorporen el análisis de posibles situaciones de riesgo y vulnerabilidad. Para poder planificar, es necesario contar con información validada, veraz y confiables, se reconoce que la legislación ecuatoriana ya ha plantado las bases para manejar la información pública y privada, sin embargo, para llegar a esto ha sido necesario recorrer un largo camino.



Figura 1.2.2. Línea de tiempo: legislación información



Fuente: (A partir de Vivanco et al., 2017)



NORMA TÉCNICA PARA LA CREACIÓN, CONSOLIDACIÓN Y FORTALECIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN LOCAL

Transparencia y acceso a la información.-

La información que generen los sistemas de planificación y de finanzas públicas es de libre acceso, tanto para las personas naturales como para las jurídicas públicas y privadas.

Obligación de remitir la información:

Requerir a los GAD y demás instituciones relacionadas con el OT, uso y gestión del suelo, y a la ciudadanía en general, información necesaria.

2015

2016

* La SENPLADES establece los mecanismos, metodologías y procedimientos aplicables a la generación y administración de la información para la planificación, así como sus estándares de calidad y pertenencia.

Faciliten la generación, estructuración, integración y difusión de información estadística y geográfica para fortalecer los procesos de planificación y toma de decisiones en los GAD.



* Define el carácter de oficial de los datos relevantes para la planificación nacional, y los lineamientos para la administración, levantamiento y procesamiento de la información, que serán aplicables para las entidades que conforman el sistema.





Este recorrido a promovido la creación de nueva información, revisión de existente e intercambio interinstitucional, no obstante, existen otros factores influyentes para el manejo de la información como es el presupuesto general del estado y cómo este es invertido correcta o incorrectamente. Cada nivel de gobierno cuenta con su presupuesto asignado, el cuál corre el riesgo de no ser invertido de la mejor manera, sin apego estricto al reparto competencial vigente, debido a que “el traslado de competencias dependía de las voluntades y capacidades de cada gobierno seccional, y que naturalmente resultó un fracaso” (Batallas Gómez, 2013, pág. 1). Como respuesta a ella, se van creando poco a poco disposiciones por parte del Estado, donde se comienza a seguir una organización del territorio, se diferencian las competencias, se da un mejor seguimiento a los presupuestos de los GAD y se obliga a cumplir con lo planificado en los planes de desarrollo y ordenamiento, entre otras contribuciones que se han logrado en los últimos años.

Entre aciertos y desaciertos, que no se van a discutir en esta investigación, se han hecho cambios a nivel de la planificación del país y el manejo de los riesgos, destacándose algunas iniciativas de leyes y reglamentos por parte de los GAD Municipales que gozan de independencia política, administrativa y financiera. El país muestra apertura para generar políticas institucionales que planifiquen, regulen, controles y gestionen los riesgos en los riesgos en los GAD Municipales que son objetivo de este estudio.

Se ve una clara intención del Estado en cubrir el déficit, en el tema de susceptibilidad de riesgo, se canaliza parte del presupuesto nacional, año tras año, con el fin de aminorar los posibles daños que pudieran darse y asegurar el continuo desarrollo de las ciudades sin percances relacionados con desastres naturales, esto inclusive antes de suscitarse el terremoto de abril del 2016.

Figura 1.2.3. Inversión del estado central a través de la Secretaría de Gestión de Riesgos.

Los recursos para la gestión de riesgos
(Inversiones en montos devengados canalizadas a través de la Secretaría de Gestión de Riesgos)

año	dólares
2008	2'819.438
2009	24'235.159
2010	87'455.504
2011	102'455.184
2012	34'633.244
2013	19'739.933
2014	15'890.845
2015*	1'887.317
Total acumulado (289'116.624)	

Fuente: (Ministerio de Finanzas, 2015)

Elaboración: SENPLADES, 2015.

La Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial Uso y Gestión del Suelo (LOTUS), con registro oficial de fecha 5 de julio del 2016, provocó grandes impactos sobre los reglamentos generales de la planificación, trata temas sobre ciudad, desarrollo urbano, hábitat, vivienda digna y adecuada, características de uso y ocupación de suelo, entre otros, como contexto general, además, se prioriza el control y la mitigación de riesgos en asentamientos humanos y la evaluación de estos.

Lo antes descrito, ha dado apertura para crear organismos de control y legislación con relación a los riesgos, sobre todo, en asentamiento urbanos, en combinación con el lamentable desastre natural suscitado el 16 de abril del 2016, en la provincia de Manabí, con epicentro en Pedernales, en donde existieron innumerables familias afectadas. Las autoridades nacionales ven la urgencia de estudiar los temas de riesgos; en esta ley, es donde aparecen los primeros indicios explícitos de ello.

Fotografía 1.2.1. Afectación de edificación: terremoto 16 de abril 2016, Pedernales.



Fuente: (BBC Mundo, 2016)

Como antecedente, se sabe que de una ley se desprenden los reglamentos, como precepto dentro de LOTUS, presenta en el Título I, Principios y Reglas Generales, Capítulo II Principios rectores y derechos orientadores del ordenamiento territorial, planeamiento del uso y gestión del suelo, Artículo 11, literal 3, “Los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales y metropolitanos, de acuerdo con lo determinado en esta Ley [...] identificarán los **riesgos naturales y antrópicos** de ámbito cantonal o distrital”, donde obliga a todos los gobiernos municipales a partir de este momento a definir sus zonas susceptibles de riesgo. Adicional a esto, en la misma Ley, Título V, Régimen Institucional, Capítulo 1, Rectoría y Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales y metropolitanos,



Artículo 91, Atribuciones y Obligaciones de los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales y metropolitanos para el uso y la gestión del suelo, numeral 4, "Emitir mediante acto normativo las regulaciones técnicas locales para el ordenamiento territorial [...] incluirán los estándares mínimos de **prevención y mitigación de riesgo** elaborados por el ente rector nacional" (Asamblea Nacional, 2016). Además, en esta ley se da el plazo de un año, y se establece que habrá sanciones, sin embargo, son muy pocos los municipios que han logrado incorporar este componente a los instrumentos de planificación y asignar las determinantes con respecto a uso y ocupación de suelo, no obstante, prácticamente ninguno ha podido definir sus zonas de riesgo, pese a la ley vigente con respecto a este tema.

La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, como ente rector que legisla y obliga a cumplir todo lo regulado con respecto a los riesgos naturales y antrópicos del país, desarrolló un proyecto de ley, denominada Ley Orgánica del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos que tiene por objeto "normar y regular la organización y funcionamiento del Sistema Descentralizado de Gestión de Riesgos, [...] previniendo nuevos riesgos y reduciendo los existentes, contribuyendo a fortalecer la resiliencia de los territorios, respondiendo y atendiendo ante la ocurrencia de desastres." (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017)

Dicha ley busca el cumplimiento sobre la identificación de zonas de riesgo, de acuerdo al Título IV, De la Gestión de Riesgos, Capítulo I, Fase de identificación del Riesgo y Monitoreo, Artículo

24, "Comprende la **determinación del riesgo con base a los estudios de amenazas y las condiciones de vulnerabilidad**, de las capacidades institucionales y de las comunidades" (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017), aquí, se observa el déficit de los municipios de ejercer el cumplimiento de estas obligaciones, siendo de carácter urgente, según las leyes ya instauradas y en proyecto, el dar paso a las disposiciones con respecto a esta temática, a pesar de ello, es evidente que los municipios no han resuelto como cumplir lo establecido en la norma.

La falta de independencia financiera, entre otros aspectos, ha causado que los GAD Municipales canalicen sus presupuestos hacia otros ámbitos, dejando de lado el control y manejo de riesgos en asentamientos urbanos, pese a que, se ha mostrado su importancia e impacto en la planificación de las ciudades. Los gobiernos municipales enfrentan grandes desafíos en todos los aspectos y obligaciones que conlleva su independencia, según el Consejo Nacional de Competencias en el año 2015, el 100% de las competencias exclusivas constitucionales fueron transferidas e implementadas a los diferentes niveles de Gobiernos Autónomos Descentralizados. No obstante, aunque el objetivo del Estado central era lograr que cada uno de los GAD puedan generar sus propios ingresos y reinvertirlos en su beneficio, ya sea con empresas públicas, con cobro de impuestos, o por el medio que le sea posible, sigue existiendo un amplio margen de dependencia.



Tabla 1.2.1. Cantones según porcentaje de dependencia de transferencias estatales, 2010.

ECUADOR 2010: NUMERO DE CANTONES SEGÚN PORCENTAJE DE DEPENDENCIA DE TRANSFERENCIAS ESTATALES.					
HETEROGENEIDAD DE INGRESOS	ECUADOR: NUMERO DE CANTONES SEGÚN GRUPOS DE PORCENTAJES DE DEPENDENCIA DE TRANSFERENCIAS GUBERNAMENTALES				
	GRUPOS DE PORCENTAJE DE DEPENDENCIA DE TRANSFERENCIAS	NUMERO DE CANTONES	% de CANTONES	NUMERO ACUMULADO DE CANTONES	%A de CANTONES
	25,7-30,7%	3	1,4%	3	1,4%
	+30,7-35,7%	3	1,4%	6	2,7%
	+35,7-40,7%	2	0,9%	8	3,6%
	+40,7-45,7%	2	0,9%	10	4,5%
	+45,7-50,7%	10	4,5%	20	9,0%
	+50,7-55,7%	9	4,1%	29	13,1%
	+55,7-60,7%	18	8,1%	47	21,3%
	+60,7-65,7%	14	6,3%	61	27,6%
+65,7-70,7%	27	12,2%	88	39,8%	
+70,7-75,7%	41	18,6%	129	58,4%	
+75,7-80,7%	39	17,6%	168	76,0%	
+80,7-85,7%	25	11,3%	193	87,3%	
+85,7-90,7%	18	8,1%	211	95,5%	
+90,7-95,7%	10	4,5%	221	100,0%	
TOTALES	221	100,0%			

Fuente: (Cordero, 2016)

En la Tabla 1.2.1, presentada por Fernando Cordero, en el X Simposio Nacional de Desarrollo Urbano y Planificación Territorial: Desequilibrios Territoriales y Gestión Local, año 2016, se evidencia estadísticamente la dependencia financiera latente de los gobiernos descentralizados, entendiéndose esto, y habiéndose demostrado la urgencia por integrar el manejo de riesgos en los planes de ordenamiento de los diferentes niveles de gobierno. Este estudio aspira generar una herramienta para facilitar a los gobiernos autónomos descentralizados municipales cumplir con

la identificación de zonas de riesgo dentro del perímetro urbano, la academia siempre debe ir de la mano con la búsqueda del bienestar común de la población, pues, existe deficiencia por parte de las entidades competentes para cumplir con las obligaciones descritas en la norma vigente y las universidades pueden ayudar en la gestión de la información.

Cuando la comunidad académica coordina para crear nuevas formas de generar información útil orientada a la colectividad, puede encontrarse con algunos inconvenientes. Por ejemplo, al momento de buscar información disponible sobre la cual realizar estudios, se ha encontrado inadecuado manejo de la información pública, es decir, se manipula información incompleta, desactualizada, sin referencia geográfica, entre otros. En la actualidad, la era tecnología envuelve a todos a nivel global y su principal fuente de difusión de la información es la internet, dicho esto, las entidades públicas deben reconocer la importancia de subir a la red la información que manejan, ofreciendo la misma a cualquier usuario que lo necesite.

La información que manejan las instituciones públicas debe ser de total acceso para la población, el Artículo 81 de la Constitución de la República, **garantiza el derecho a acceder a las fuentes de información**, como vinculo para establecer la participación democrática respecto del manejo público y la rendición de cuentas a la que están sujetos todos los funcionarios del Estado (Asamblea Nacional Constituyente, 2008). La misma norma constitucional establece que **no existirá reserva respecto de informaciones que reposen en archivos públicos**, excepto, las



que por seguridad nacional no se pueda conocer; la libertad de información está reconocida tanto en el Artículo 19 del Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos, como en el Artículo 13 de la Convención Interamericana de Derechos Humanos (Congreso Nacional, 2004).

Por su parte, la Ley Orgánica de Transparencia y Acceso a la Información Pública (LOTAIP), en el Artículo 7 establece, "Difusión de la Información Pública. - Por la transparencia en la gestión administrativa que están obligadas a observar todas las instituciones del Estado, enseñarán a través de los puentes de comunicación (web, medios necesarios) toda la información relevante de cada entidad (Congreso Nacional, 2004), además, de que no se pueda negar información al público, cada institución tiene la obligación de poner al alcance por medio de instrumentos de uso público la información generada por la organización.

Se reconoce que aún existen entes gubernamentales que no han sido partícipes de este proceso de difusión de la información, no obstante, y para beneficio del público, existen varias entidades que ya muestran la información de su gestión al público en general. En la página web del Sistema Nacional de Información, que es "conjunto organizado de elementos que permiten la interacción de actores con el objeto de acceder, recoger, almacenar y transformar datos en información relevante para la planificación del desarrollo y las finanzas públicas" (Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas, 2010) ya se han incorporado instituciones como: Instituto Geográfico Militar (IGM),

Instituto Nacional Geológico Minero Metalúrgico del Ecuador (INIGEMM), Ministerio del Ambiente (MAE), Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES), Secretaría del Agua (SENAGUA), Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, entre otros, incluso algunas universidades y gobiernos municipales, hacen pública la información territorial que manejan, con el propósito de retroalimentar la misma, generando nuevos aportes y utilizarla en bien de la comunidad.

Al respecto, se han abierto Geoportales y Visores Geográficos, donde en algunos de ellos permiten descargar información en formato shape (.shp), demostrando que, con pasos pequeños, se van sentando las bases para un manejo de información pública oportuna. En realidad, aún queda mucho por hacer, pero, estas acciones fortalecen la gestión de las entidades, para que las futuras generaciones puedan aprovechar y generar nueva información.



1.3 Geoprocesamiento en la planificación urbana y gestión de riegos

La planificación urbana históricamente se ha realizado sobre una mesa, con mapas realizados a mano y con información muy ambigua e inexacta, en otras épocas, cuando los analistas geográficos trataban de resolver problemas del mundo real, se reunían alrededor de una pizarra blanca y creaban organigramas y diagramas (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. , 2017) ,es solo, en las últimas décadas en donde el avance tecnológico ha permitido la representación gráfica de mapas con base a información veraz y comprobable, actualizada y en escalas acorde al fin que se va a utilizar.

Gracias a estos avances, hoy se cuenta con información relevante, sin embargo, la pregunta es ¿Por qué detenerse allí?, hace falta poder interpretarla correctamente, obtener indicadores acordes a aspectos específicos a resolver, tratar, eliminar, fomentar, entre otros, dentro de la planificación urbana.

El problema actual es que se dispone de información básica para realizar un plan de ordenamiento urbano, bastante cercano a la realidad, no obstante, y con perspectiva de resolver los problemas de un asentamiento, el aporte propuesto sobre esta información, es combinarla y manejarla para lograr una planificación integral, contribuyendo en agilizar los tiempos para obtener resultados en cuestión de minutos y no después de semanas o meses, como se ha venido efectuando.

Las nuevas tecnologías permiten resolver estos problemas, como un aliado del técnico planificador, entendiendo que no se pueden comparar los conocimientos técnicos y experiencia de un urbanista planificador, pero, si se puede efectuar procesos con base a estudios previos, en donde los resultados minimicen inversión de recursos humanos, tiempo y dinero. Así pues, la Confederación de Empresarios de Andalucía (2018) sostiene que el uso de geoprocesos permiten realizar análisis complejos de la realidad espacial rápidamente [...], así como, su mejor factor distintivo, que, además, supone una ventaja no sólo cualitativa sino también cuantitativa.

No todas las personas a quienes está dirigida esta investigación cuentan con conocimiento previos para responder a la pregunta ¿Qué es el geoprocesamiento de información?, al respecto, se debe profundizar conocimientos de otras definiciones, de donde viene y en qué casos se puede y debe utilizar. Por lo antes descrito, se define cada uno de los términos relacionados, tales como: geoinformación, entendiéndose como información primordial y primer acercamiento a este tipo de terminología, de

este modo, se da apertura a la indagación en sistemas de información geográfico (GIS), como herramienta y posibles usos, por otro lado, entendiendo que la información que se utiliza en esta investigación es en medida de lo posible de carácter oficial, se deben comprender los términos metadato e infraestructura de datos espaciales (IDE), sus principales características, beneficios, utilidades y usos, entre otros.

La geoinformación está conformada por datos, localizados en coordenadas específicas de acuerdo con el tipo de información que contengan. Esta información puede ser de tipo numérico, alfanumérico, figuras, sonidos e imágenes. La geoinformación corresponde a los datos que se organizan de modo que tengan significado y valor para el receptor, para que pueda interpretar significados y obtener conclusiones e implicaciones a partir de ellos. Un dato ocupa un espacio cartográfico y posee una localización específica, con base a un sistema geográfico de referencia. Sus componentes son: geométricos, ubicación sobre la superficie terrestre; semánticos, atributos o descripción; topológicos, referido a relaciones espaciales y de tiempo, cuando ocurrió el fenómeno o cuando fueron obtenidos los datos (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2014)

Una muestra de geoinformación se organiza siguiendo un modelo lógico, el cual hace referencia a cómo se muestrean y organizan las variables, indicadores y objetos para lograr una representación adecuada según el tipo de información que se maneje y los resultados que se quiere obtener. En un SIG existen básicamente dos modelos lógicos que se conocen: formato

raster y vectorial, los cuales dan lugar a los dos grandes tipos de capas de información espacial.

En el formato raster divide el espacio en un conjunto regular de celdas, cada una de las cuales, se le asigna un número para ser identificado como objeto o variable. Este mismo formato se ocupa para imágenes que puedan ser importadas y utilizadas dentro del SIG. En el formato vectorial los diferentes objetos pueden representarse a través de puntos, líneas o polígonos, asimismo, dependiendo del tipo de información que se maneje, la escala y los resultados a los cuales se quiere llegar y puede ser representado de diferentes formas.

Figura 1.3.1. Tipos de información geográfica: vectorial y raster.



Fuente: (Telecentro Regional en Tecnologías Espaciales , 2017)



Un SIG o GIS, en su acrónimo inglés [Geographic Information System]) es una combinación de hardware, software y datos geográficos diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada, cuyo objetivo es resolver dificultades complejas de planificación y de gestión (Laboratorio Unidad Pacífico Sur CIESAS , 2017).

El Laboratorio Unidad Pacífico Sur CIESAS (2017) señala que el SIG trabaja como una base de almacenamiento de datos geográficos (alfanuméricos), asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. A través, de la herramienta, al señalar un objeto se desprende, información sobre sus atributos e inversamente, preguntando por un registro de la data, se puede identificar su localización en la cartografía.

Un SIG permite manipular información en varias capas «shapes», facilitando su manejo, permitiendo trabajar de forma rápida, sencilla y eficaz, ayudando a los profesionales que lo utilizan relacionar datos, permite obtener información nueva, a partir de otra pre existente, entre otros.

Los principales elementos que ayuda a resolver un SIG, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

1. Localización: acceder a un lugar concreto, con base a sus características especificadas en la cartografía.
2. Condición: Referida al cumplimiento de las condiciones impuestas al sistema.

3. Tendencia: contraste de características temporales o espaciales.
4. Rutas: cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
5. Pautas: identificación de pautas espaciales.
6. Modelos: generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

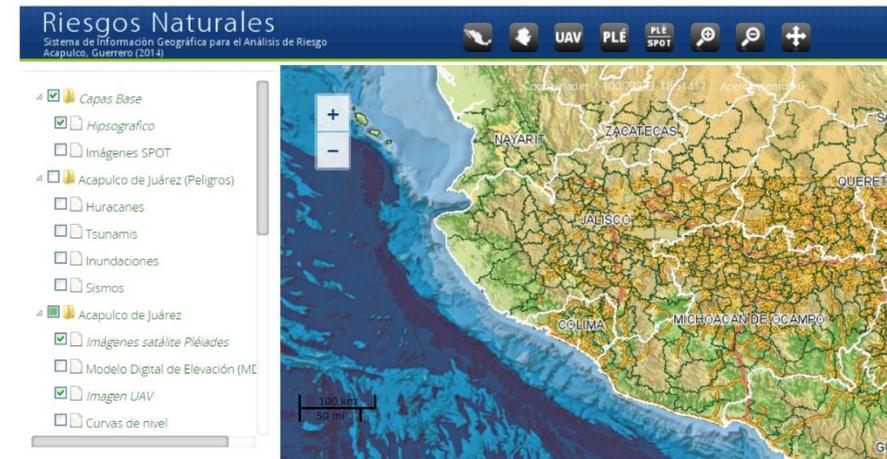
Para almacenar grandes contenidos de datos espaciales, es necesario conocer los sistemas de metadatos y las infraestructuras de identificaciones espaciales, a continuación, se explica cada uno de manera detallada:

Los **metadatos geoespaciales** se emplean para documentar recursos geográficos digitales tales como: una data espacial, un SIG o una imagen de satélite. Son archivos de información que almacenan las características básicas de algún dato o recurso. Representan el quién, qué, cuándo, dónde, cómo y por qué de ese recurso. Un registro de metadatos tiene elementos básicos como el título o nombre, elementos geográficos como la extensión que cubre el dato o el sistema de coordenadas empleado, de igual forma, elementos relativos a la base de datos asociada a la definición de cada uno de sus campos o el dominio en que se encuentran los valores (Olaya, 2012) la información registrada en cada metadato ayuda a verificar la veracidad de los datos, consultar el tipo de entidad que la registro, año de registro entre otros, permitiendo comparar la información entre sí, verificar que la escala sea acorde a los objetivos de quién los utilice, etc..

La definición clásica de una **infraestructura de datos espaciales** (IDE) es básicamente tecnológica, puesto que, se muestra como una red descentralizada de servidores, en la que incorpora datos y atributos geográficos; metadatos; métodos de búsqueda, visualización y valoración de los datos (catálogos y cartografía en red) y algún mecanismo para proporcionar acceso a los datos espaciales (Capdevila, 2004). Este tipo de infraestructuras se utilizan como medio para recopilar información e intercambiar datos entre entidades públicas o privadas, asimismo, para brindar información útil al público, que permita una retroalimentación entre quien brinda la información y quien la utiliza.

Las entidades estatales de varios países del mundo han dado pasos pequeños en la implementación de estas nuevas tecnologías para diferentes propósitos. Se puede mostrar a la ciudadanía infinidad de información útil, como vialidad, avalúo del suelo, riesgos naturales, infraestructura de servicios, entre otros, exponiendo resultados positivos hasta el momento. Ejemplificando, y realizando un acercamiento a la presente investigación, México ha integrado a su sistema de información un portal web donde cualquier usuario desde cualquier parte del mundo, puede ingresar y obtener información visual sobre riesgos en el territorio, esta disponibilidad de abrir una puerta que permita un diálogo directo con la ciudadanía, amplía la conexión entre entes gubernamentales y habitantes.

Figura 1.3.2. Visualizador de Riesgos Naturales, México. Sistema Web con información de riesgos naturales como Huracanes, Inundaciones, Sismos.



Fuente: (SIG MÉXICO, 2017)

Sobre la base de estos conceptos se entiende por **geoprocesamiento de información** como la ejecución metódica de una secuencia de operaciones en la información geográfica para crear nueva información. El objetivo fundamental de geoprocesamiento es proporcionar herramientas y un marco de trabajo para realizar análisis y administrar la geoinformación y sus resultados (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. , 2017).

Los **geoprocesos** son operaciones que implican la manipulación de datos con componente espacial, tiene: input (parámetros de entrada); procesamiento (simple o complejo) y output (parámetros de salida, habitualmente en forma de capa de



datos. Se puede obtener nueva información partiendo de la ya existe y el uso de herramientas para los diferentes geoprocesos de la información.

Entre las principales ventajas del uso del geoprocesamiento está: mejorar los procesos de creación, análisis y visualización de la información geográfica, obtener resultados en corto tiempo con información limpia y depurada, no es necesario saber de programación o codificar – aunque algunas aplicaciones lo permiten -, la interfaz es amigable con los usuarios por lo que fácilmente se pueden encontrar las herramientas necesarias y cada una de ellas tiene su propia explicación, permite intercambiar datos interna y externamente de manera eficaz y rápida (Morales, 2017), tienen la capacidad de resumir geoinformación diversa y presentarla de una forma clara.

Los programas utilizados para los geoprocesos, sea Qgis, Arcgis, gvSIG, entre otros, cuentan con diferentes herramientas para obtener varios productos, según sea la información que se disponga y los resultados que quiera conseguir el usuario. Cada uno de ellos, posee distintas características, ventajas/desventajas y diferente interfaz de usuario, por lo que, el interesado deberá utilizar el que se adapte mejor a sus necesidades y conveniencias.





Capítulo II

Aproximación metodológica para entender las zonas de riesgo

M. Belén Vega Medina
Autora







o de manera periódica como: lluvias de gran magnitud, los sismos que han sobrepasado determinada dimensión, propios fenómenos encontrados en el sitio y adicionalmente actividad antrópica.

Adicionalmente, se ha realizado un acercamiento a las metodologías de Brabb y Mora Vahrson, las cuales se determinan únicamente por medio de superposición de mapas que representan los factores activos y pasivos. Finalmente se ha realizado una síntesis de las metodologías estudiadas, lo que prepara para el planteamiento de una metodología que responda las exigencias objetivo de la investigación.

Capítulo II: Aproximación metodológica para entender las zonas de riesgo

Habiendo realizado un acercamiento a las definiciones relacionadas a la problemática que trata la investigación e indagado en la razón de la toma de decisiones, el presente capítulo se orienta en conocer las metodologías ya existentes en relación con los riesgos del territorio y ciudad.

Se analiza la metodología que maneja la SGR, misma que, es de tipo probabilística, es decir, se determinan por medio de superposición de mapas que incorporan los factores condicionantes o por medio de construcción de índices, asignándoles valores y pesos a las variables representativas causantes de susceptibilidad de riesgos.e intervienen otros factores contemplando hechos que han sucedido anteriormente





2.1 Metodología utilizada por la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR)

La SGR del Ecuador es la institución estatal encargada de ejecutar acciones conjuntas que vinculen al Estado, sociedad y empresas privada, que permitan identificar y mitigar los riesgos; entre los principales objetivos para cumplir sus atribuciones, y que guardan relación con este estudio son “Coordinar la investigación y estudios pertinentes para el desarrollo e implementación del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos.” y “Desarrollar capacidades, instrumentos y mecanismos para responder adecuadamente ante la inminencia y/o la ocurrencia de eventos adversos.” (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017)

Partiendo del hecho que la SGR es el ente rector con relación a riesgos nacionales, tiene la potestad y conocimiento técnico para generar y evaluar metodologías referentes a las amenazas y vulnerabilidades que pudiera afectar a la ciudadanía, por lo que, la instituciones públicas constituyen la mejor alternativa de guía y pauta para la evaluación de riesgos, tomando en cuenta la información pública que disponen; por ello, el estudio tomó como insumos principales el análisis de las metodologías que encabezan los avances de técnicas de valoración de riesgos naturales en el país.

Lamentablemente en la actualidad, no existe una metodología de manejo público, fiable y comprobada que analice las características físicas del área urbana de las ciudades del Ecuador, solo existen análisis a gran escala y en territorio mayoritariamente rural, sin considerar, que las áreas urbanas son en donde se evidencia el mayor porcentaje de concentración poblacional, por lo cual, implícitamente se debe dar prioridad a este sector, porque, existe una mayor vulnerabilidad debido a las actuaciones antrópicas sobre el territorio.

Bajo estas directrices la SGR ha creado algunos instrumentos para definir los riesgos dentro del territorio nacional, aplicándose de igual manera a las regiones Costa, Sierra, Amazonía y Región Insular. Las metodologías que se han analizado guardan relación con peligros por amenaza de inundación y de movimientos de masa.



2.1.1. Propuesta metodológica: análisis de amenaza por inundación

La SGR no ha estructurado un documento articulado sobre la metodología que sigue la institución para la zonificación de amenazas por inundación, como si sucede en el caso de peligro de amenaza por movimientos en masa, pero, se han definido las variables que influyen al momento de identificar sitios con peligro de tipo hidrológico.

Fotografía 2.1.1. Impacto de inundación dentro del límite urbano.



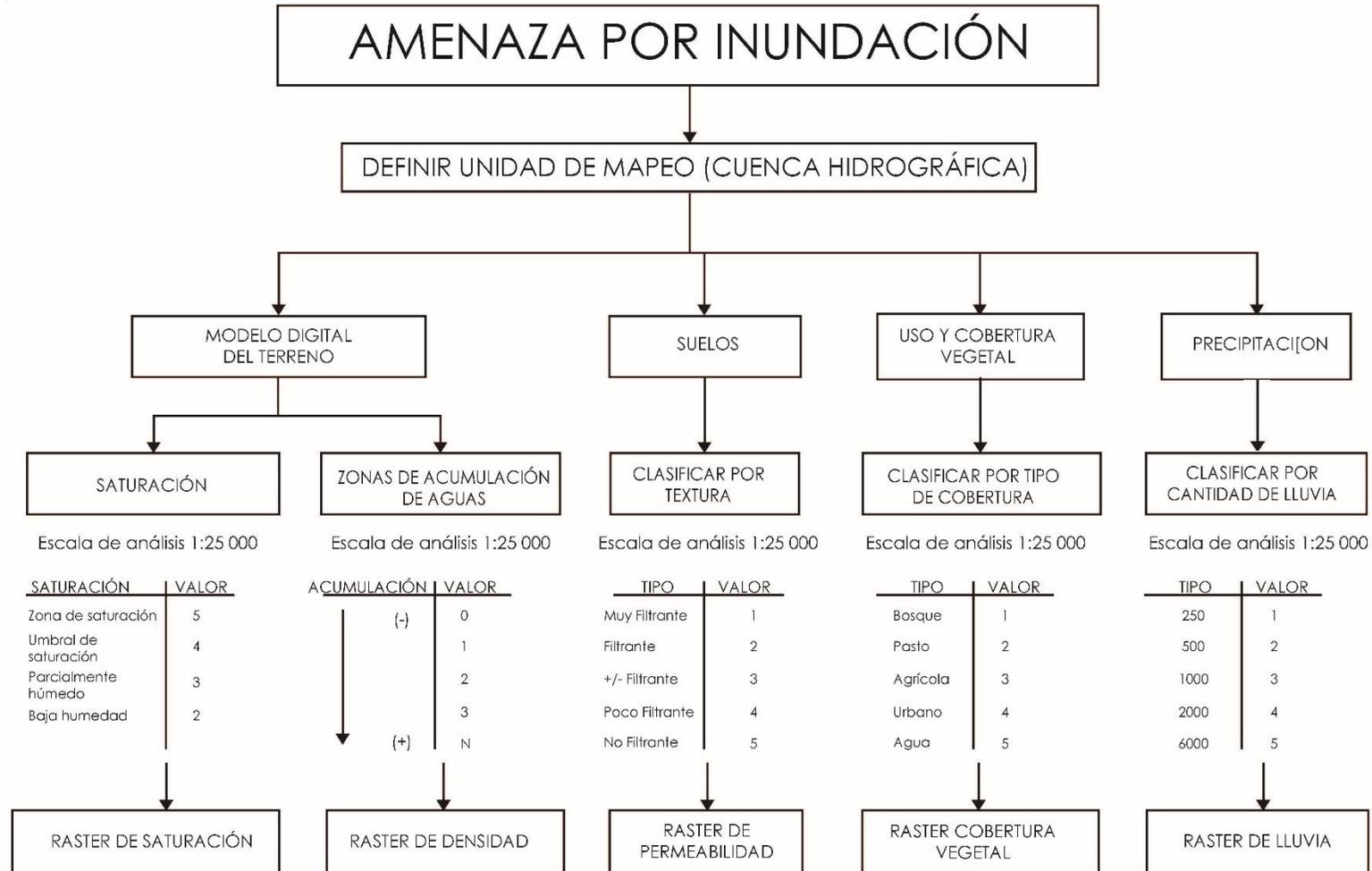
Fuente: Ecuavisa, 2014.

Cada uno de los valores cuenta con su respectiva ponderación según la naturaleza de los factores, para finalmente definir de manera objetiva y eficaz las zonas con probabilidad de inundación en el territorio de estudio. Se debe indicar que la escala utilizada para estos estudios es 1:25 000, que es la disponible en la mayoría de información del territorio nacional según las características, sobre todo de orden físico.

Para precisar una zonificación según diferentes niveles de amenaza hídrica, los factores de mayor importancia son las características del medio físico, entre ellas: una clasificación según isoyetas y rangos de pendiente del terreno que reduzcan o provoquen mayor impacto en caso de grandes precipitaciones. Adicionalmente se consideran particularidades significativas como topografía del terreno y como este ayuda a la acumulación hídrica -que producen impacto relevante a la hora de originar una posible inundación; la cobertura vegetal y textura del suelo.



Figura 2.1.2. Esquema de propuesta metodológica: Análisis de amenaza por inundación



NOTA: Las valoraciones aquí indicadas han sido el resultado de una investigación por expertos en el tema de riesgos de inundación de la SGR.

Fuente y elaboración: Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017.



2.1.2. Propuesta metodológica: análisis de amenaza ante movimientos en masa

Para fines de este estudio, se consideró la descripción metodológica, cuyo objetivo general es “Definir la metodología para la elaboración de la cartografía temática de amenazas por movimientos en masa a escala 1:25.000, en función del análisis multivariable” (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017).

La SGR en la Propuesta metodológica de amenaza de movimientos en masa, expone:

“Considerando la gran influencia de los procesos de geodinámica externa en las regiones Costa, Sierra, Amazonía y región insular, sean estos generados por procesos tectónicos o por acción de agentes climáticos como principales factores desencadenantes, la presente metodología propone establecer el nivel la amenaza por movimientos en masa presente en un territorio determinado” (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017)

La metodología considera variables como “la densidad estructural (fallas geológicas, lineamientos estructurales), pendiente del terreno, suelo (textura), geología (litología), precipitación, profundidad efectiva e índice de estabilidad” (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017)

Los procesos de remoción en masa se producen por un incremento de las fuerzas desestabilizadoras y/o por una reducción en la resistencia de los materiales implicados. Los factores que controlan los movimientos de ladera en general son

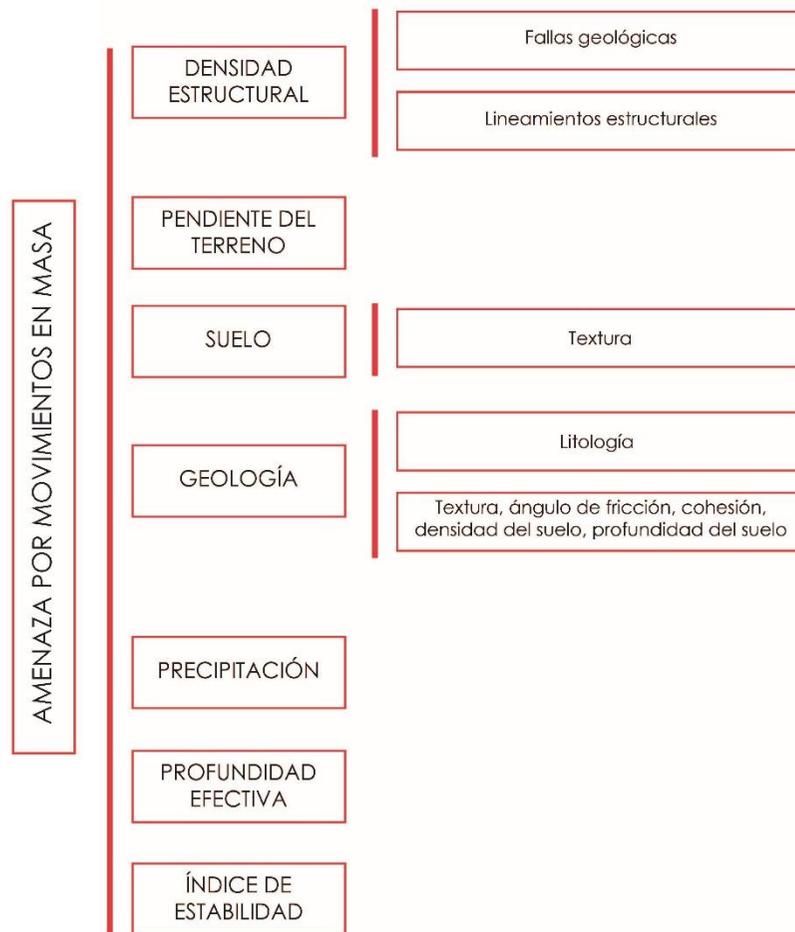
aquellos capaces de modificar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017).

La metodología expuesta divide los factores que influyen en los resultados en dos grandes grupos: factores condicionantes y desencadenantes. Entendiéndose como factores desencadenantes o activos como aquellos “que dependen de la naturaleza, estructura y forma del terreno, tales como: la topografía, geomorfología, geología, uso y cobertura vegetal, cuya interacción define la susceptibilidad o probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa en una determinada zona de estudio”, por otro lado, se entiende como factores desencadenantes aquellos que “son considerados acciones externas, que provocan inestabilidad y desencadenan movimientos en masa al modificar las condiciones preexistentes” (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017)

Los factores que se utilizan dentro de una metodología no son independientes por sí solos, sino que, guardan una relación entre ellos. Se evalúan los factores mostrados en este subcapítulo para poner en consideración posteriormente en la propuesta metodológica. Se muestran a continuación las variables que utiliza la SGR en la Figura 2.1.3.



Figura 2.1.3. Variables para el mapa de amenaza por movimientos en masa



Fuente y elaboración: A partir de Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017.

Todos estos shapes tienen escala 1:25 000, que es la escala que dispone la institución de todo el territorio nacional, al momento de realizar la propuesta metodológica se consideró estos datos como bases, recalcando que la escala para manipular datos dentro de un territorio tan pequeño como el urbano debe ser a una escala menor y adecuada, como 1:5 000 o 1:10 000, dependiendo, de las variables que se contemplen utilizar.

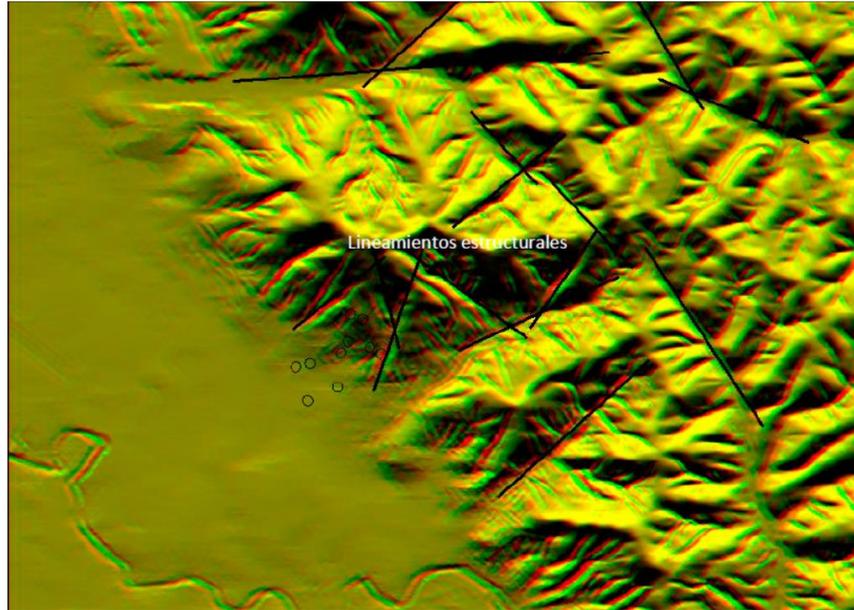
Según la Secretaría de Gestión de Riesgos (2017) disponer de un Modelo Digital de Terreno –con resolución espacial de 3 m– es fundamental como punto de partida, pues, constituye el insumo más importante al momento de establecer la densidad estructural, pendiente del terreno e índice de estabilidad, mismos que, formarán parte del análisis multicriterio final. Explicado esto, se debe definir exactamente como se considera y que se entiende por cada uno de los factores que intervienen en la metodología.

2.1.2.1. Factores incidentes para el análisis de amenaza ante movimientos en masa

2.1.2.1.1. Densidad estructural

La densidad estructural se determina a partir de un modelo digital del terreno, trazando lineamientos de forma manual, los cuales son realizados por expertos del tema. Los lineamientos son los “responsables del control estructural de la zona de estudio, diferenciando de aquellos que únicamente controlan el patrón de drenaje” (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017).

Figura 2.1.4. Determinación de los principales lineamientos estructurales



Fuente y elaboración: Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017.

2.1.2.1.2. Pendiente del terreno

Se expresa por el valor de la inclinación del terreno, obtenida a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM). En el caso de la ponderación, la SGR clasificó en 5 clases, donde la numeración entera del 1 al 5 indican, de menor a mayor las condiciones favorables para que se produzcan movimientos en masa.

Tabla 2.1.1. Asignación de ponderación por rango de pendientes

PENDIENTE DEL TERRENO			
CLASE	RANGO (%)	PONDERACIÓN	DESCRIPCIÓN
Media	12 -25	1	Relieves medianamente ondulados
Media a fuerte	25 - 40	2	Relieves mediana a fuertemente disectados
Fuerte	40 - 70	3	Relieves fuertemente disectados
Muy fuerte	70 - 100	4	Relieves muy fuertemente disectados
Escarpada	> a 100	5	Relieves escarpados, pendiente =>45°

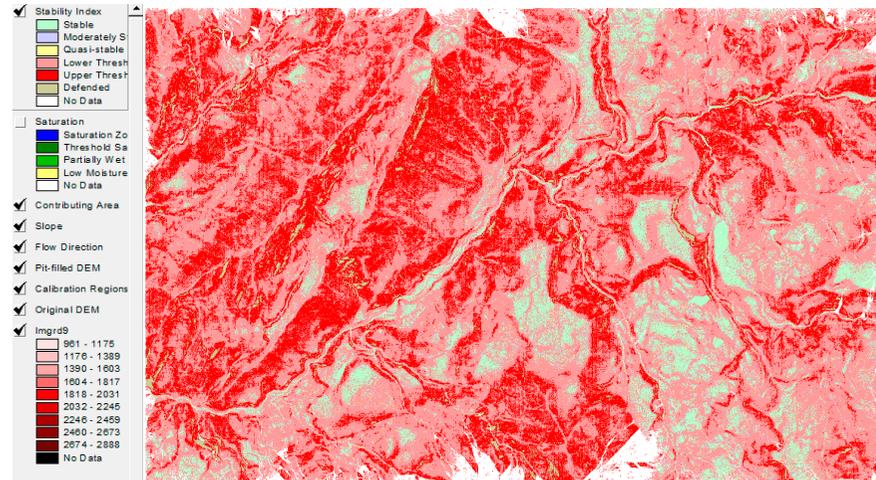
Fuente y elaboración: A partir de Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017.

2.1.2.1.3. Índice de estabilidad

En el índice de estabilidad intervienen factores como: "constante de la gravedad, densidad del suelo, densidad del agua, transmisibilidad, cohesión, ángulo fricción y línea inferior de humedad" (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017), los resultados se obtienen a través de análisis de características del territorio y

su morfología por técnicos especializados que manejan esta materia. Se genera, entonces, un archivo raster, que forma parte de los insumos para elaboración de los mapas propuestos.

Figura 2.1.5. Determinación de índice de estabilidad.



Fuente y elaboración: Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017.

2.1.2.1.4. Precipitación

“El factor precipitaciones expresa la influencia de las lluvias como factor causal preparatorio o desencadenante de movimientos en masa” (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017) El estudio amplía el uso de este factor a dos posibles casos, el primero como mayor cantidad de mm de lluvia en 24 horas; y el segundo una clasificación de isoyetas.

2.1.2.1.5. Geología – litología

En cualquier estudio relacionado con movimientos de masa se consideran características de la naturaleza del suelo, se toman en cuenta “las características de los diferentes tipos de roca comprendidos en su respectivo ambiente geológico (ígneo, sedimentario y metamórfico), así como sus características texturales y sus propiedades geomecánicas” (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017), siendo de vital importancia a la hora de analizar la incidencia del suelo en los resultados frente a fenómenos naturales.

La asignación de pesos por litología comprende una tabla, donde, dependiendo de las características del suelo y según asesoría de expertos geólogos, se realiza una asignación de ponderaciones del 1 al 5, de modo que, se pueda utilizar posteriormente conforme se desarrolla la metodología.

2.1.2.1.6. Suelo – textura

Este factor señala la granulometría del suelo, representa la variable textura y profundidad efectiva del suelo. El tamaño de los granos que lo conforman brinda información sobre tipos de suelo, características morfológicas, físicas y químicas. Esta asignación de valores, son el resultado de análisis por profesionales con manejo en conocimientos de geología y ciencias químicas.



Tabla 2.1.2. Asignación de ponderación por textura del suelo

TEXTURA DEL SUELO			
MÁXIMA TEXTURA	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN	PONDERACIÓN
11	Arenoso (Fina, media, gruesa)	GRUESA	5
12	Arenoso franco		
21	Franco arenoso (fino a grueso)		4
32	Limoso	MEDIA	3
31	Franco		
22	Franco limoso		
34	Franco arcillo – arenoso		
35	Franco arcillo limoso		
44	Arcillo limoso	FINA	2
43	Arcillo arenoso		
33	Franco arcilloso (>35% de arcilla)		
41	Franco arcilloso (>35%)		
42	Arcilloso		1
51	Arcilloso (>60%)		

Fuente y elaboración: A partir de Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017.

2.1.2.1.7. Profundidad efectiva

Se considera el espacio en que las raíces de las plantas comunes pueden penetrar sin mayores obstáculos, con vista a conseguir el agua y los nutrientes indispensables (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017) .

Tabla 2.1.3. Asignación de ponderación por profundidad efectiva.

PROFUNDIDAD EFECTIVA DEL SUELO		
MÍNIMA PROFUNDIDAD	CLASIFICACIÓN	PONDERACIÓN
1	Superficial	4
2	Poco profundo	3
3	Moderado profundo	2
4	Profundo	1

Fuente y elaboración: A partir de Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017.

2.1.2.2. Elaboración del modelo cartográfico

Para delimitar la importancia de cada una de las variables, la SGR propone utilizar el método propuesto por Saaty, donde por comparación y relación de variables, se pueden obtener las más significativas del proceso y, por ende, donde se debe priorizar el análisis. El método de Saaty es una técnica de contraste por pares de los criterios a partir de una matriz cuadrada, en la cual el número de filas y columnas está definido por el número de criterios a ponderar. Así, se instituye una matriz de comparación, cotejando la importancia de cada uno de ellos con los demás, luego se instaura el autovector – o eigenvector- principal, el cual establece los pesos (w_j) que brinda una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores (Saaty, 1990)

La SGR en su propuesta metodológica, especifica todo el proceso seguido por la matriz de Saaty, sin embargo, para los fines pertinentes de esta investigación, se mostrarán únicamente los resultados, siendo resumidos en la siguiente ecuación:



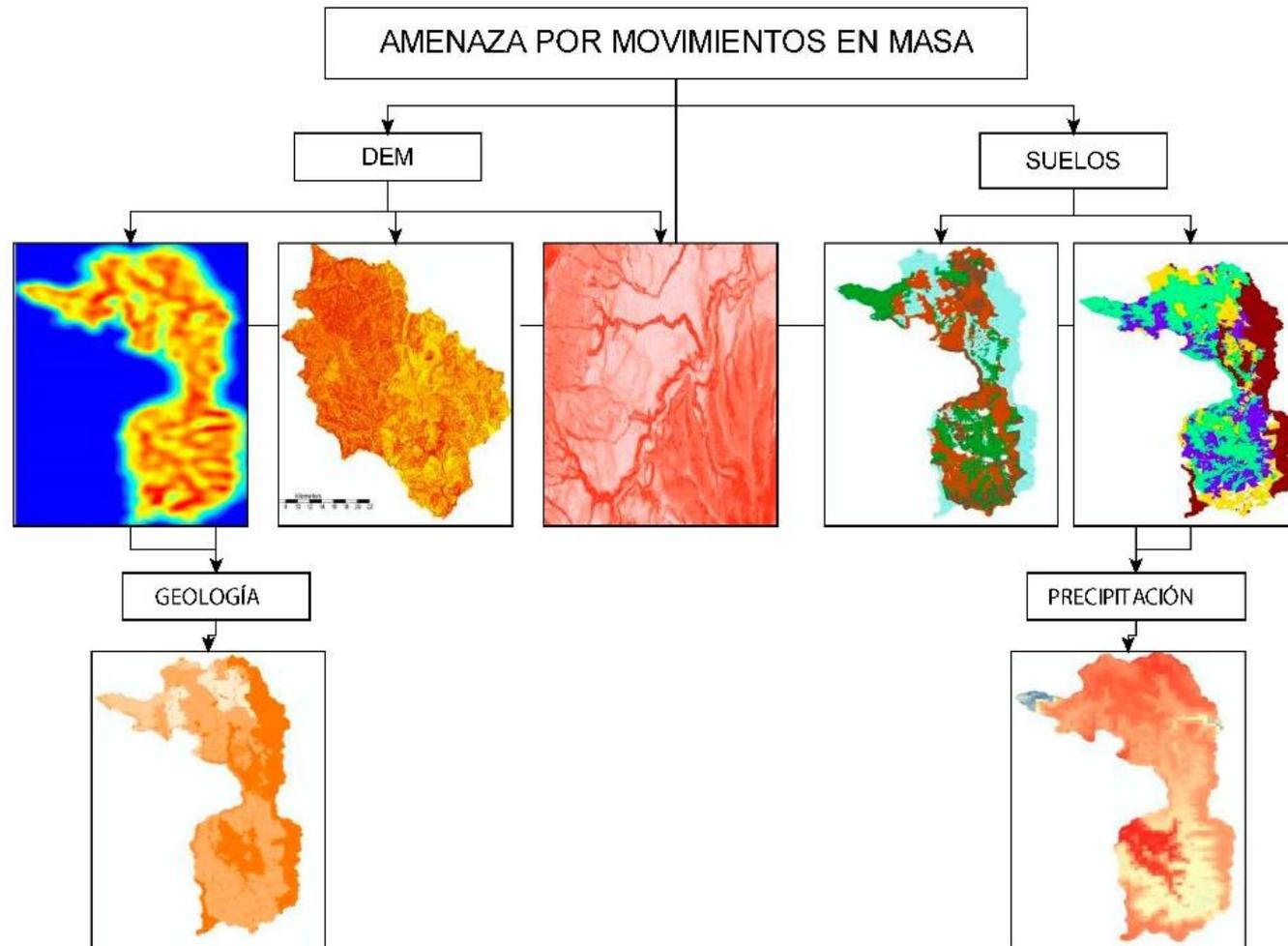
$$At = [densidad\ estructural] * 0.30 + [pendiente\ del\ terreno] * 0.23 + [suelo] * 0.16 + [litología] * 0.11 + [precipitación] * 0.08 + [profundidad\ efectiva] * 0.06 + [índice\ de\ estabilidad] * 0.06$$

2.1.2.3. Análisis multicriterio

Una vez explicado los factores utilizados para generar la metodología, y haciendo hincapié en que la creación del raster, debe realizarse por un profesional formado en el tema y que conozca plenamente el territorio analizado, finalmente se los obtiene, con los cuales se desarrolla el geoprocesamiento.

En este sentido, y para corroborar resultados, se realiza una validación del modelo con información histórica o reciente, además, de una verificación mediante toma de muestras en campo con el objetivo de complementar el análisis e interpretaciones previamente realizadas, "es fundamental determinar con exactitud todos aquellos factores condicionantes (litología, suelo, etc.) y aquellos desencadenantes (tectónica, precipitaciones, etc.), de tal forma que la información obtenida sea adecuadamente correlacionada con el trabajo de gabinete" (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017)

Figura 2.1.6. Raster generados del proceso cartográfico realizado a cada una de las variables.



Fuente y elaboración: A partir de Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017.



2.1.2.4. Categorización del modelo de amenaza ante movimientos en masa

Una vez realizado el procesamiento de información y concluidos los mapas finales, se debe hacer una categorización. En este caso la SGR define cinco tipos de amenaza, clasificándolas en niveles: sin amenaza, amenaza baja, amenaza media, amenaza alta y amenaza muy alta.

Tabla 2.1.4. Niveles de amenaza ante movimientos en masa.

AMENAZA ANTE MOVIMIENTOS EN MASA	
	SIN. Comprende áreas estables y sin probabilidades para que ocurran Movimientos en Masa. Se caracterizan por presentar pendientes de terreno planas a suaves, no mayores al 5%.
	BAJA. Estas áreas se caracterizan por presentar pendientes muy suave a suave, es decir no mayores a 12%, y superficies de terreno con condiciones geológicamente estables aún ante la presencia de fenómenos intensos y extensos como las precipitaciones. En estas zonas puede producirse solifluxión del material.
	MEDIA. Estas superficies se caracterizan por presentar pendientes de terreno media a fuerte, es decir no mayores a 40%, corresponden a materiales muy poco fracturados, medianamente meteorizados. Se evidencian procesos erosivos de baja intensidad;

	predominan procesos de reptación. El material se desestabiliza tras actuaciones naturales muy intensas y/o externas, así como a la acción de las precipitaciones en la zona.
	ALTA. Corresponde a zonas en donde las condiciones del terreno se caracterizan por la presencia de rocas meteorizadas, fracturadas, en donde existe escasa cobertura vegetal, estas superficies presentan suelos poco cohesivos, poco compactos. La zona está marcada por procesos erosivos causados especialmente por acción hídrica; además existe evidencia de la influencia tectónica local y regional. Comprenden zonas con pendientes media a fuerte hasta fuerte, es decir no supera el 70%.
	MUY ALTA. Corresponde a zonas que se caracterizan por la presencia de rocas muy meteorizadas, muy fracturadas, no existe cobertura vegetal, se evidencia cambios en el uso del suelo (actividad antrópica), estas superficies presentan suelos poco cohesivos, poco compactados. La zona está marcada por procesos erosivos causados especialmente por acción hídrica y la influencia tectónica local y regional. Comprenden zonas con pendientes muy fuertes a escarpada, es decir supera el 100%.

Fuente y elaboración: A partir de Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017.



Para representar cualquier tipo de amenazas en un mapa (Ver Tabla 2.1.4) se usa el principio de colores verdes y/o neutros en caso de menores riesgos de amenaza y tiende a rojo según se acerca a mayor amenaza. La Tabla está acompañada de una descripción según su clasificación que ayuda al lector a entender mejor y a profundidad las características que tiene la zona indicada, con respecto a esa ponderación.

Este tipo de representación es entendida por cualquier persona, por lo que con mapas temáticos se busca llegar a la ciudadanía, de modo que, entiendan, interioricen y pongan en práctica el uso de esta información al momento de emplazar sus viviendas, para reducir el número de ciudadanos afectados por desconocimiento del territorio en relación con los riesgos.



2.2 Método de Brabb

Los primeros mapas se realizaron en pizarras o superponiendo planos con los diferentes factores geológicos que pudieran influir en fallas o deslizamientos, pero, desde 1988 se utiliza los Sistemas de Información Geográfica para la elaboración de mapas de susceptibilidad. Earl E. Brabb es la primera persona en desarrollar y utilizar mapas de susceptibilidad de deslizamientos, la metodología se crea en San Mateo County, California para el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés) en 1978 (Abril, 2011).

Para la definición de las zonas de susceptibilidad de deslizamientos esta metodología utiliza tres mapas bases: inventario de fenómenos de remoción de masas (FRM), mapa de unidades litológicas y mapa de pendientes.

En primer lugar, como base principal se utiliza un inventario de FRM, afirmando que aquellos sitios que ya sufrieron un tipo de

remoción de masas anteriormente, son propensos a volver a tenerlos con un detonante menor, siendo en este caso, las características: litológicas y la topografía del terreno reflejado en las pendientes. El mapa de inventario de FRM puede realizarse por fotointerpretación a partir de fotografías aéreas, imágenes satelitales y posteriores comprobaciones en campo, recopilando sus particularidades de tipología, magnitud y grado de actividad.

El método ha sido detallado para ser utilizado en forma cartográfica por Varnes (1984) y el procedimiento originalmente propuesto por Brabb, se expone a continuación:

- a) El área de cada una de las unidades y subunidades litológicas de la zona es limitada, utilizando una malla con resolución de 0.01 millas cuadradas (2.6 hectáreas).
- b) En el Mapa de Unidades Litológicas para identificar las unidades en las cuales ocurren FRM se sobrepone el mapa de inventario de FRM; y, después se calculan las áreas deslizadas en cada una usando la malla.
- c) Los diferentes tipos de rocas son ordenadas crecientemente considerando el porcentaje determinado por la relación entre las áreas deslizadas en cada unidad litológica y las determinadas para cada unidad litológica. De esta manera se fija una susceptibilidad relativa o parcial (SP), según el porcentaje de masa deslizada en cada litología.
- d) La clase más alta de susceptibilidad (M) se asigna a los depósitos de FRM, porque, contienen mucha más área deslizada



(100%) que las litologías de las cuales ellos provienen. Así, los depósitos de FRM se consideran como una unidad litológica.

e) Las otras clases de susceptibilidad parcial se determinan en función de intervalos convenientes de los porcentajes de masa deslizada, identificados para cada unidad litológica, asignándoles de esta forma un símbolo a cada uno de ellos.

f) El mapa de pendientes se sobrepone al Mapa Litológico y al Mapa Inventario de FRM combinados; y, se examinan sistemáticamente para determinar los intervalos de pendiente que muestran la máxima frecuencia de FRM para cada unidad litológica. Los intervalos de pendiente que presentan los valores máximos, son etiquetados con las clases de susceptibilidad más alta.

Los intervalos de pendiente que muestran significativamente menos FRM se etiquetan con numerales de clases de susceptibilidad menores. La unidad litológica que tenga una susceptibilidad parcial (SP) máxima de 3, se identifica con ese numeral solamente donde las pendientes sean superiores al 30%, tomando en cuenta, que se espera tener menor número de FRM en las pendientes menores, sus denominaciones de susceptibilidad en los rangos de pendientes menores pueden ser 2 o inclusive 1, dependiendo de la razón de cambio entre la susceptibilidad parcial y la pendiente (Varnes, 1984).

Las amplitudes en los rangos de pendientes determinados en la metodología no parecen corresponder a una solución estadística y tampoco son uniformes (0-5, 5-15, 15-30, 30-50, 50-70 y >70%).

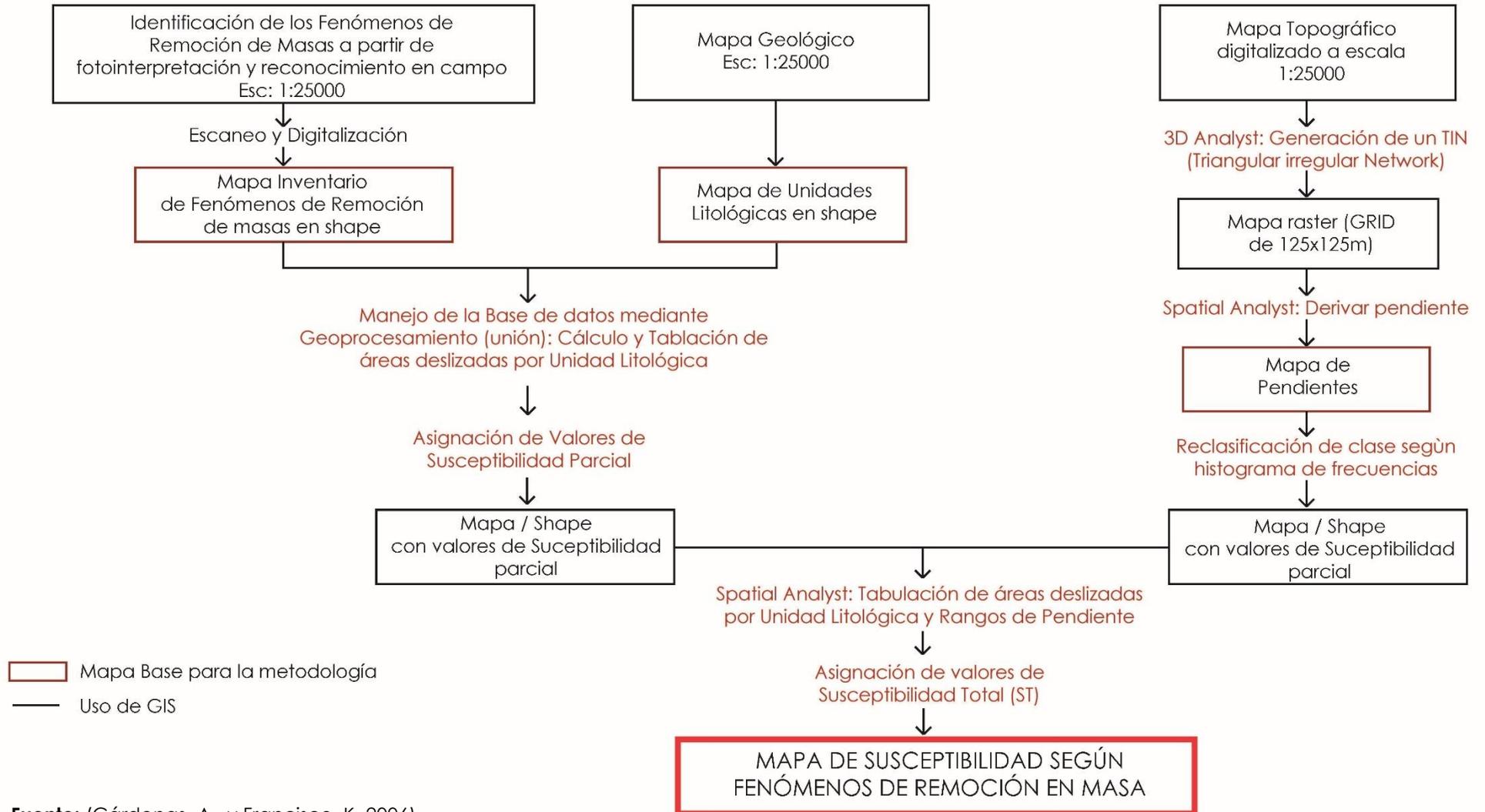
Según Varnes (1984) el mapa de susceptibilidad por FRM que se crea a partir de esta metodología, incluye dentro de la misma clase de susceptibilidad unidades de rocas resistentes en terrenos con pendientes fuertes y unidades litológicas con rocas de baja resistencia en terrenos de media y baja pendientes. En realidad, los límites de clases de susceptibilidad pueden separar rocas de igual resistencia que tengan diferencias en cada rango de pendientes. Este mapa, no muestra distinción cartográfica entre los diferentes tipos de FRM o sobre el grado de actividad de éstos.

La metodología se puede realizar manualmente por superposición de mapas, a pesar de ello, la ejecución se facilita mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica. Al respecto, Cárdenas y Francisco (2006) muestra un diagrama de flujo del Método de Brabb, utilizando un SIG para facilitar su práctica. Información que sirvió para la tecnificación del método, permitiendo la reproducción de esta técnica sobre todo en países del continente americano.

Este tipo de metodología puede tener algunas limitantes según los objetivos que se desean alcanzar, y considerando que la presente investigación busca proporcionar una herramienta para mejorar la relación de la planificación urbana y los riesgos naturales y antrópicos, los resultados podrían no ser los más óptimos, sin embargo, a esta metodología luego se la modificó, denominándola Método de Brabb modificado, en donde las variables guardan una mejor relación con el entorno urbano y se acerca con la realidad del área a intervenir.

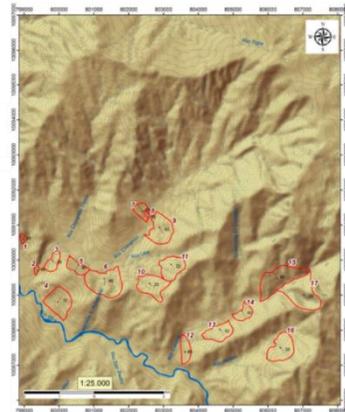


Figura 2.2.1. Diagrama de flujo del Método de Brabb utilizando un SIG.

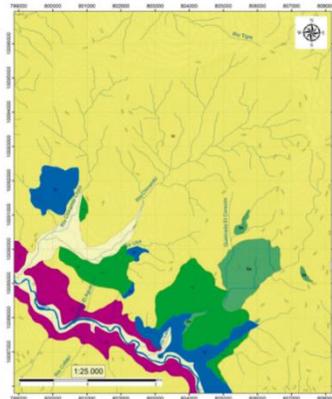


Fuente: (Cárdenas, A., y Francisco, K, 2006)

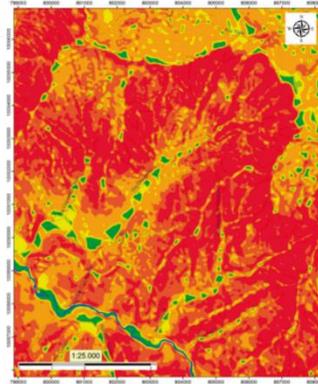
Figura 2.2.2. Aplicación Método de Brabb en sector Chinambi – Ecuador.



Inventario de fenómenos de remoción de masas

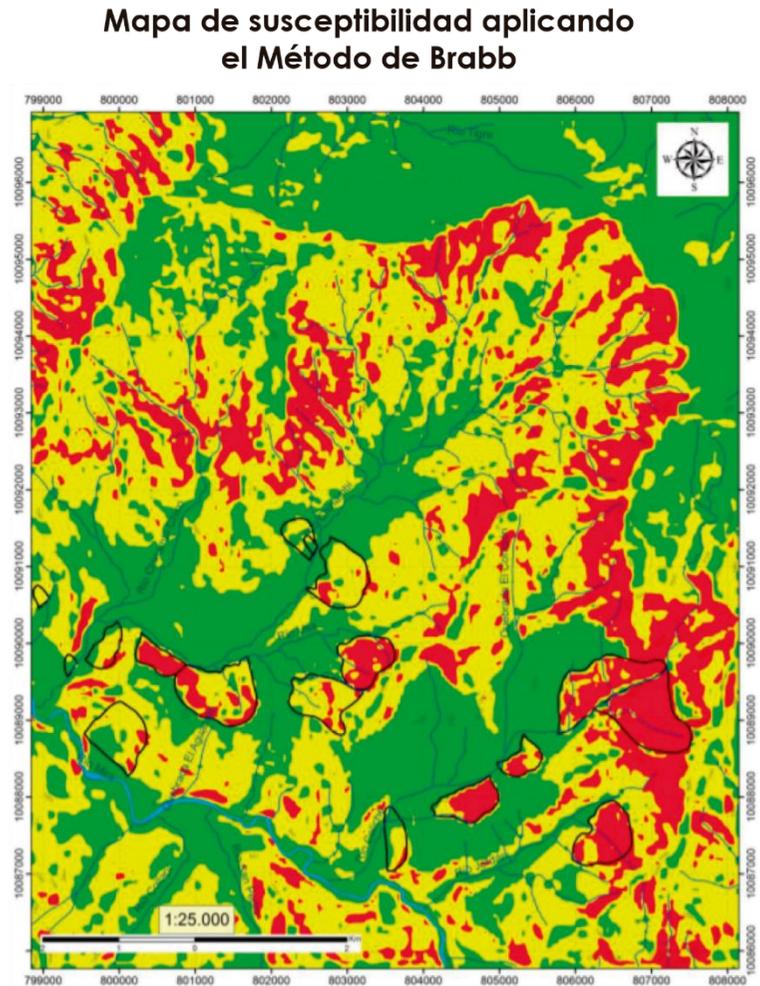


Unidades litológicas



Pendientes

Valores de entrada

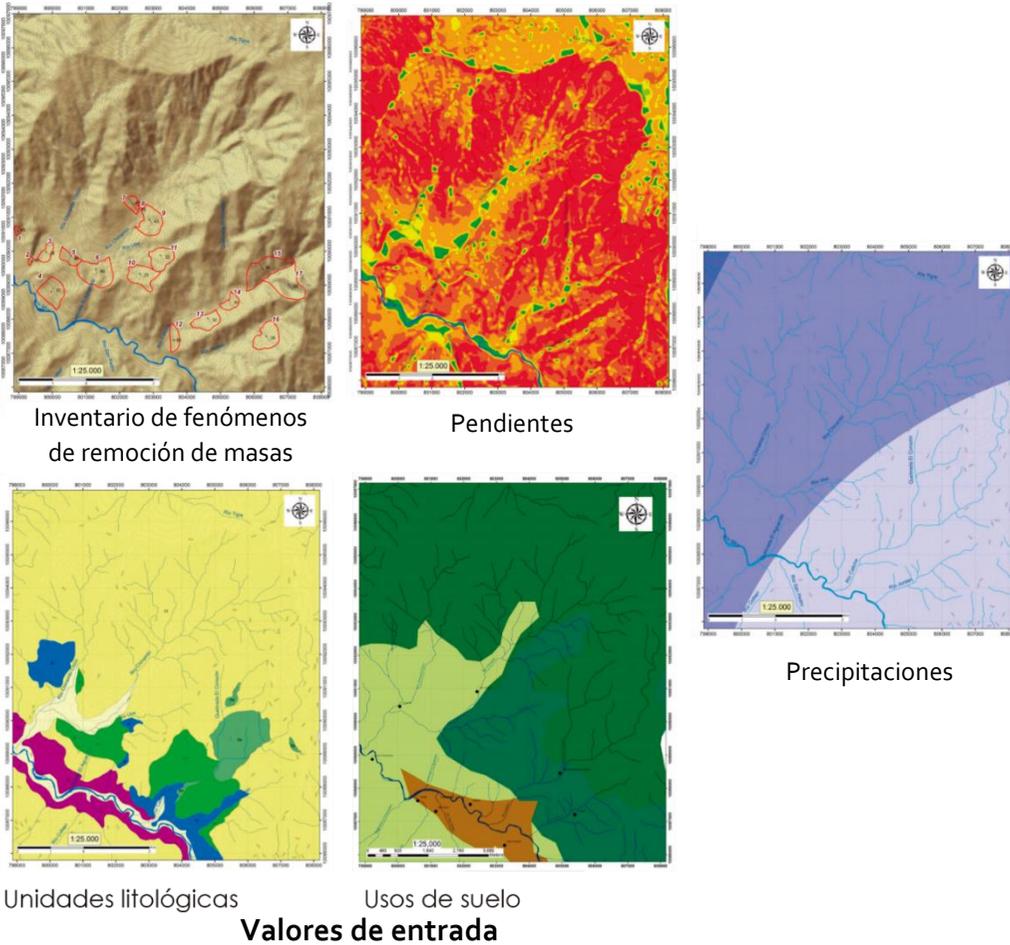


Valores de salida

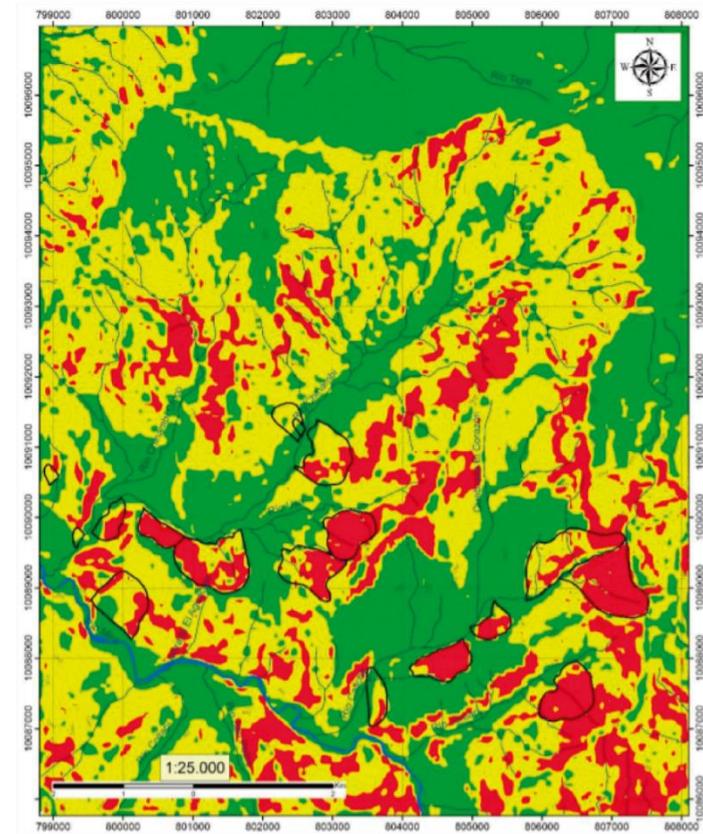
Fuente y elaboración: (Naranjo, R., y Omar, M., 2016)



Figura 2.2.3. Aplicación del Método de Brabb modificado en sector Chinambi – Ecuador.



Mapa de susceptibilidad aplicando el Método de Brabb modificado



Fuente y elaboración: (Naranjo, R., y Omar, M., 2016)





2.3 Método de Mora - Vahrson

Esta metodología fue elaborada por Sergio Mora y Wilhelm Guenther Vahrson en Tapanti, en el valle central de Costa Rica-1991. Se utiliza esta técnica generalmente en países en vías de desarrollo; identifica pocas variables, pero de igual manera los más significativos como parámetros a observar en la inestabilidad del suelo, se lo suele elaborar con Sistemas de Información Geográfica SIG, ya que, facilita su práctica y permite la tecnificación del método.

Esta metodología zonifica con base a la combinación de variables y asignación de valores relativos según las cualidades del suelo, pues, puede verse afectado en cuanto a deslizamientos, caídas, vuelcos y flujos. La escala a utilizar para esta metodología es de 1:25 000 por su aplicación en territorios. Las causas predominantes para que se den movimientos del suelo se dividen en dos grandes grupos: factores pasivos y factores desencadenantes.

2.3.1. Clasificación de factores según método Mora - Vahrson

2.3.1.1. Factores pasivos

También conocidos como factores condicionantes o factores de susceptibilidad, están contruidos por: las propiedades intrínsecas del propio terreno (litología, estratigrafía, resistencia al corte, grado de meteorización), las características morfológicas y geométricas de la ladera (topografía, pendiente), condiciones hidrogeológicas (humedad del terreno, nivel freático) y otros factores como estructuras geológicas, discontinuidades y estados de tensión-deformación (Barrantes Castillo, G., Barrantes Sotela, O., y Núñez Roman, O, 2011).

2.3.1.2. Factores desencadenantes

Barrantes et al., (2011) sostienen que los factores desencadenantes, activos o de disparo corresponden con las precipitaciones (que afectan el nivel freático y provocan erosión) tanto prolongadas como intensas, los movimientos sísmicos, actividad antrópica (excavaciones, represas, sobrecarga de edificaciones, construcción de carreteras, rellenos de laderas, filtraciones en áreas urbanas) y esporádicamente el vulcanismo (deslizamientos, o avalancha de detritos relacionados con actividad volcánica).

El método se aplica a partir de la combinación de los factores antes descritos, considerando como factores de susceptibilidad las características litológicas del suelo, el contenido de humedad



y el grado de pendiente de la ladera, asimismo, como elementos desencadenantes se discurren la sismicidad y la pluviosidad que pudieran perturbar el equilibrio de la zona de análisis.

El grado de susceptibilidad al deslizamiento se relaciona con los elementos pasivos y de la acción de los factores de desencadenantes. (fórmula 1)

$$S = P * D [1]$$

Donde:

S: grado de susceptibilidad a deslizamientos

P: valor producto de la combinación de los parámetros pasivos

D: valor del factor de disparo de los parámetros activos

Los elementos pasivos se componen de los siguientes parámetros (fórmula 2):

$$P = PI * Ph * P p [2]$$

Donde:

PI: valor del parámetro de susceptibilidad litológica

Ph: valor del parámetro de humedad del terreno

P p: valor del parámetro pendiente

El factor de desencadenantes se compone de los siguientes parámetros (fórmula 3):

$$D = Ds + Dll [3]$$

Donde:

Ds: valor del parámetro de disparo por sismicidad

Dll: valor del parámetro de disparo por lluvia

Sustituyendo los parámetros, la ecuación completa se expresa como sigue (fórmula 4):

$$S = (PI * Ph * P p) * (Ds + Dll) [4]$$

Habiendo explicado la fórmula determinada por Mora y Vahrson, se debe describir como obtener cada uno de los componentes que se encuentra. Si bien, las asignaciones de valores según sus características dependen del sitio en cuestión, se sugiere la clasificación expuesta posteriormente en el texto.

2.3.2. Descripción de factores según método Mora - Vahrson

2.3.2.1. Parámetro de susceptibilidad litológica

Los tipos de suelos y rocas constituyen un papel superior en el comportamiento dinámico de las laderas. La composición mineralógica, la capacidad de retención de humedad, los espesores y grado de meteorización, el estado de fracturamiento, el ángulo de buzamiento, la posición y variación de los niveles freáticos, etc., inciden en la estabilidad o inestabilidad de las laderas (Mora, R., Mora, S., y Vahrson, W, 1992).



Tabla 2.3.1. Valoración de parámetro de susceptibilidad litológica.

Clase	Clasificación	Características litológicas
I	Bajo	Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo. Calizas duras permeables. Rocas intrusivas, poco fisuradas, bajo nivel freático. Basaltos, andesitas, ignimbritas. Características físicas mecánicas: materiales sanos con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevado, fisuras sanas, sin relleno.
II	Moderado	Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, poco fisuradas Calizas duras permeables Rocas intrusivas, calizas duras características físico-mecánicas: resistencia al corte medio a elevada
III	Medio	Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco soldadas, rocas metamórficas mediana a fuertemente alteradas, niveles freáticos relativamente altos
IV	Alta	Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, rocas fuertemente alteradas.

V	Muy alta	Materiales aluviales, coluviales de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los casos 3 y 4 con los niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos altos
---	----------	---

Fuente: (Mora, R., Mora, S., y Vahrson, W, 1992)

2.3.2.2. Parámetro de humedad del suelo del terreno

Lo ideal para clasificar y ponderar adecuadamente al suelo, es hacer medición en campo a través de diferentes estaciones para obtener resultados fieles durante varios momentos del año. Para este estudio los GAD de las ciudades intermedias pueden pedir información al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología y la Dirección General de Aviación Civil del Ecuador que cuentan con estaciones distribuidas y funcionando.

Tabla 2.3.2. Valoración de parámetro de humedad del suelo del terreno.

Precipitación media mensual (mm/mes)	Valor asignado
< 125	0
125 – 205	1
> 250	2

Fuente: (Mora, R., Mora, S., y Vahrson, W, 1992)



Tabla 2.3.3. Valoración de parámetro de humedad.

Suma de valores asignados a cada mes	Descripción	Valoración del parámetro
0-4	Muy bajo	1
5-9	Bajo	2
10-14	Medio	3
15-19	Alto	4
20-24	Muy alto	5

Fuente: (Mora, R., Mora, S., y Vahrson, W, 1992)

2.3.2.3. Parámetro de pendientes del terreno

La pendiente del terreno se considera, como factor determinante por obvias razones, el comportamiento del suelo en caso de deslizamientos está directamente relacionado con esta característica. Mora et al., (1992) acompañan las pendientes con rasgos propios, además, de una sugerencia de colores para el caso de mapas y representaciones gráficas del método. Se debe recalcar que los autores subdividen el parámetro de pendientes en siete diferentes grupos, decisión que debe ser valorada según la naturaleza del estudio y sitio donde se vaya a aplicar la metodología.

Tabla 2.3.4. Valoración de parámetro de pendientes del terreno.

Pendientes	Condiciones del terreno	Color sugerido	Valor del parámetro
0°-2°	Planicie, sin denudación apreciable	Verde oscuro	0
2°-4°	Pendiente muy baja, peligro de erosión.	Verde claro	1
4°-8°	Pendiente baja, peligro severo de erosión.	Amarillo	2
8°-16°	Pendiente moderada, deslizamientos accionales, peligro severo de erosión	Naranja	3
16°-35°	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos	Rojo claro	4
35°-55°	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible	Rojo oscuro	5
> 55°	Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales severos (caída de rocas), cobertura vegetal limitada	Morado	6

Fuente: (Mora, R., Mora, S., y Vahrson, W, 1992)



Por otro lado, Mora y Vahrson también definen los parámetros detonantes, es decir, que al suscitarse, y en caso de existir áreas de susceptibilidad resultan en riesgo, los mismos son descritos y valorados a continuación -dependiendo de su naturaleza-:

2.3.2.4. Parámetro detonante de precipitación

Este parámetro se lo suele medir con pluviómetro en los diferentes periodos del año, tomándose en cuenta como factor detonante únicamente la precipitación máxima registrada. La unidad de medida son milímetros de agua, que significa un litro de agua por metro cuadrado (m²).

Tabla 2.3.5. Valoración de parámetro de precipitación.

Precipitación máxima mm/día	Descripción	Valor asignado
< 100	Muy bajo	1
101 – 200	Bajo	2
201 – 300	Medio	3
301 – 400	Alto	4
> 400	Muy alto	5

Fuente: (Mora, R., Mora, S., y Vahrson, W, 1992)

2.3.2.5. Parámetro detonante de sismicidad

Se ha observado que el potencial de generación de deslizamientos por actividad sísmica puede correlacionarse con la escala de intensidades de Mercalli-Modificada por Mora et al., (1992)

Tabla 2.3.6. Valoración de parámetro de sismicidad.

Intensidad Mercalli-Modificada	Aceleración Pico (%g)	Aceleración PGA (m/s ²)	Calificación	Valor
III	1-12	0,098 - 1,226	Leve	1
IV	13-20	1,227 - 2,011	Muy bajo	2
V	21-29	2,012 - 2,894	Bajo	3
VI	30-37	2,895 - 3,679	Moderado	4
VII	38-44	3,680 - 4,365	Medio	5
VIII	45-55	4,366 - 5,445	Elevado	6
IX	56-65	5,446 - 6,426	Fuerte	7
X	66-73	6,427 - 7,210	Bastante fuerte	8
XI	74-85	7,211 - 8,388	Muy fuerte	9
XII	>85	> 8,389	Extremadamente fuerte	10

Fuente: (Mora, R., Mora, S., y Vahrson, W, 1992)

2.3.3. Interpretación de resultados

Para los resultados de la composición de todos los factores no se puede establecer una escala de valores única, pues, los mismos dependen de las condiciones de cada área estudiada. Por este motivo, se sugiere dividir el rango de valores obtenidos para el área de estudio, en cinco clases de susceptibilidad y asignar los calificativos que se presentan en la Tabla 2.3.7 (Mora, R., Vahrson, W., y Mora, S., 1992).



Tabla 2.3.7. Grado de amenaza de acuerdo con el potencial de susceptibilidad

Potencial	Clase	Grado de amenaza
0-6	I	Muy baja
7-32	II	Baja
33-512	III	Moderada
513-1251	IV	Alto
> 1251	V	Muy alta

Fuente: (Mora, R., Vahrson, W., y Mora, S., 1992)

El resultado de la mezcla de factores desemboca en un mapa que se subdivide en cinco niveles de susceptibilidad, en donde se asignan calificativos según las características del área estudiada, ya que, este es una representación de los diferentes niveles de amenaza y no una amenaza propiamente dicha. Mora, Vahrson y Mora (1992) realizan un acercamiento a la generalidad, pero, se recalca que las tipologías deberán corresponder al área de estudio.

Tabla 2.3.8. Clasificación de la susceptibilidad a deslizamientos.

Clase	Calificativo de susceptibilidad a deslizamiento	Características
I	Muy baja	Sectores estables, no se requieren medidas correctivas. Se debe apreciar la incidencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos

		urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc.
II	Baja	Sectores estables que requieren medidas correctivas menores, solamente en caso de obras de infraestructura de gran envergadura. Se debe consentir la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado
III	Moderada	No se recomienda la construcción de infraestructura si no se realizan estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio. Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, reforestación, entre



		otros. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado. Recomendable para usos agropecuario.
IV	Alta	No se recomienda la construcción de infraestructura, para su utilización se deben realizar estudios de estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.
V	Muy alta	No se recomienda la construcción de infraestructura, se recomienda como áreas de protección.

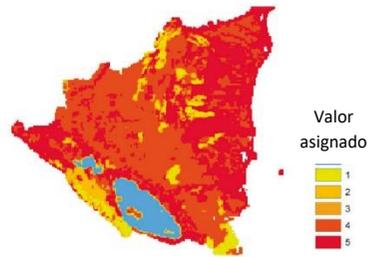
Fuente: (Mora, R., Vahrson, W., y Mora, S., 1992)

A continuación, se muestra un ejemplo esquemático del empleo de esta metodología en Nicaragua. La utilización de este método en este caso se aplica a nivel de territorio, donde las características difieren con las que encontramos dentro del área urbana, además de la clara diferencia de escala de los valores de ingreso (input).



Figura 2.3.1. Ejemplo de la metodología de Mora - Vahrson aplicada en Nicaragua.

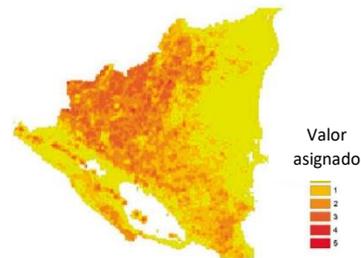
Factores pasivos



Litología



Humedad del suelo

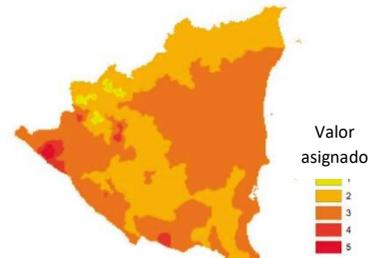


Pendientes

Factores de disparo



Actividad sísmica

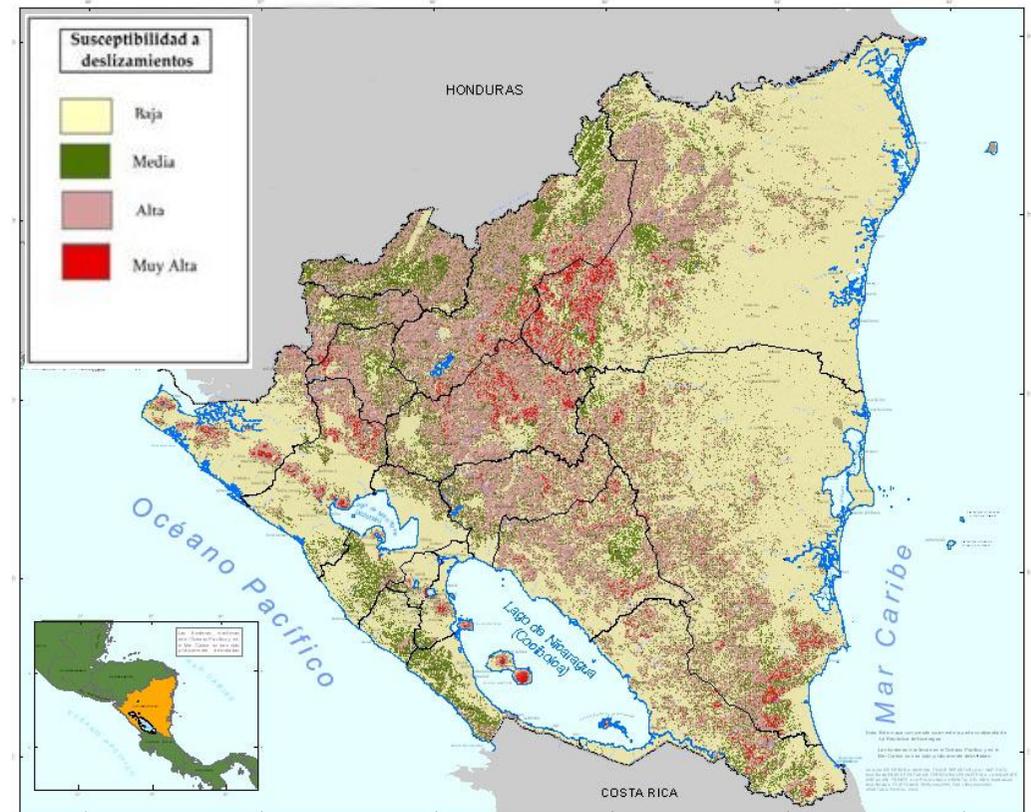


Precipitaciones

Valores de entrada

Fuente y elaboración: Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales, 2001.

Mapa de susceptibilidad aplicando la metodología de Mora & Vahrson



Valores de salida



Las diferentes asignaciones de valores, en cada una de las metodologías, permite la valoración de susceptibilidad de riesgos, según la técnica escogida, puede ser de inundación, de remoción de masas, o se pueden utilizar mapas temáticos si se requieren resultados determinados.

Cada uno de los diferentes mapas con sus asignaciones permiten determinar a los GAD las posibles determinantes de uso y ocupación de suelo. Por otro lado, en el caso de lograr una difusión de la información con la población en general, esto ayuda en la toma de decisiones relacionada a la ocupación del territorio, es decir, cada una de las familias podrá visualizar los lugares con alta susceptibilidad de riesgos, aportando a que las personas no emplacen sus viviendas en zonas no aptas para la urbanización.

Estas son algunos de los aportes y posibles usos de mapas de susceptibilidad de riesgos, se continúa analizando los aportes de este tipo de evaluaciones a lo largo del documento, para finalmente en las conclusiones generar un resumen integral de los resultados a los que ha llevado esta investigación.





2.4. Síntesis de metodologías estudiadas

Habiendo indagado en diferentes metodologías, todas relacionadas con la zonificación de riesgos podemos resaltar tanto ventajas como desventajas. Entre las principales ventajas se ha observado que todas pueden ser sujetas de ejecutar mediante geoprocesamiento de información, agilizando la obtención de resultados y permitiendo una lectura gráfica; por otro lado, en todos los casos se apunta al territorio como objetivo de aplicación de la metodología, lo cual es pertinente, no obstante, no han sido probadas en territorio urbano.

El hecho de apuntar hacia un territorio evidencia que los factores de lo cual dependen los resultados son ajenos a una ciudad, y que en el caso de ser aplicados en área urbana sin una valoración previa desencadenará una lectura errónea de

resultados, ya que el territorio y la ciudad son diferentes fenómenos y realidades.

Se ha observado también un manejo de parámetros que apunta únicamente a amenazas del medio físico, para una mejor comprensión se debe indagar y comprender los siguientes términos:

Susceptibilidad

Según la Real Academia Española (2018), está definido como "cualidad de susceptible", donde susceptible hace referencia a "capaz de recibir la acción o el efecto que se expresan a continuación", en relación con nuestro objetivo de estudio se entiende que el territorio o área urbana es sensible ante cambios o actuaciones en el medio físico.

Riesgo

"El riesgo es una medida de la probabilidad y severidad de un efecto adverso a la vida, la salud, la propiedad o el ambiente. Se mide en vidas humanas, propiedades en riesgo y daños ambientales. El riesgo generalmente es estimado como el producto de la probabilidad de la amenaza por las consecuencias para los elementos en riesgo." (Secretaría de gestión de riesgos, 2017).

Amenaza

"Está relacionada a una probabilidad de ocurrencia de tales fenómenos, de una magnitud esperada en un lugar y tiempo definidos. La Amenaza se analiza en relación a la



susceptibilidad y los factores detonantes (lluvias y sismos) son los que accionan o disparan el inicio de los eventos.” (Secretaría de gestión de riesgos, 2017).

Vulnerabilidad

“El grado de probabilidad de pérdida de un determinado elemento o grupo de elementos dentro del área afectada por el deslizamiento, se expresa en una escala de 0 (no pérdida) a 1 (pérdida total).” (Secretaría de gestión de riesgos, 2017).

Una vez comprendidos estos términos, y entendiendo que los riesgos son el resultado de la ocurrencia de una amenaza en una situación vulnerable, se ve pertinente hacer un análisis de la utilización de parámetros utilizados en las metodologías expuestas, además de ello se ha realizado un cuadro síntesis en la Tabla 2.4.1 donde se exponen sus características más significativas, aplicabilidad en territorio y ciudad y otros datos relevantes para este estudio.



Tabla 2.4.1 Síntesis de metodologías.

SÍNTESIS DE METODOLOGÍAS							
METODOLOGÍA	FACTORES CONDICIONANTES	AÑO DE FORMULACIÓN	ESCALA MÍNIMA A UTILIZAR	APLICABILIDAD		TIPO DE FACTORES	
				TERRITORIAL	URBANO	AMENAZA	VULNERABILIDAD
Análisis de amenaza por inundación - Secretaría de Gestión de Riesgos	<ul style="list-style-type: none"> - Saturación - Acumulación de aguas - Textura - Tipo de cobertura - Cantidad de lluvia 	2017	1 : 25 000	✓	✗	✓	✗
Análisis de amenaza ante movimientos de masa - Secretaría de Gestión de Riesgos	<ul style="list-style-type: none"> - Densidad estructural - Pendiente del terreno - Suelo - Geología - Precipitación - Profundidad efectiva - Índice de estabilidad 	2017	1 : 25 000	✓	✗	✓	✗
Análisis susceptibilidad de deslizamientos - Método de Brabb	<ul style="list-style-type: none"> - Inventario de fenómenos de remoción de masas - Unidades litológicas - Pendientes 	1988	1 : 25 000	✓	✗	✓	✗
Análisis susceptibilidad de deslizamientos - Método de Brabb modificado	<ul style="list-style-type: none"> - Inventario de fenómenos de remoción de masas - Unidades litológicas - Pendientes - Usos de suelo - Precipitaciones 	1988	1 : 25 000	✓	✗	✓	✗
Análisis susceptibilidad de deslizamientos - Método Mora Vahrson	<ul style="list-style-type: none"> - Litología - Humedad del suelo - Pendientes del terreno - Precipitación - Actividad sísmica 	1991	1 : 25 000	✓	✗	✓	✗

Fuente y elaboración: Propia.





Capítulo III

Propuesta metodológica para generación de mapas temáticos de zonas de riesgos en ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador

M. Belén Vega Medina
Autora







Capítulo III: Propuesta metodológica para generación de mapas temáticos de zonas de riesgos en ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador

La definición de zonas susceptibles de riesgos tiene como función guiar las actividades y usos que se puedan dar sobre el terreno evaluado sus limitaciones, además de ello sirve de base para estudios detallados sobre estabilidad de laderas, construcciones viales, emplazamiento de edificaciones, entre otras. La definición de zonas de riesgo dentro del área urbana permite que los planes de ordenamiento urbano sean correspondientes con los peligros a los que está expuesta una ciudad. La integración del manejo de riesgos en la organización del territorio urbano guía la planificación para mitigar conflictos en caso de desastres y predispone resiliencia posterior a la presencia de un fenómeno natural.

Para definir la metodología, substancia del objetivo de este estudio, se ha partido revisando previamente tanto metodologías y realidades, ya existentes utilizadas en otros países, como las utilizadas en el país por la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR), entidad rectora que guía el fortalecimiento en la ciudadanía, entidades estatales y privadas herramientas para identificar los riesgos (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017).

En este capítulo se ha efectuado un análisis de los componentes o factores influyentes para la definición y entendimiento de las zonas de riesgo, y se ha consultado a varios expertos con el fin de tener los mejores resultados, desde diferentes puntos de vista y planteamiento de la problemática.





3.1. Definición de variables influyentes para la zonificación de riesgo

Habiendo realizado un estudio sobre metodologías existentes utilizadas con relación a los riesgos previamente, se ha realizado una propuesta metodológica que se adapte a la planificación del ordenamiento urbano. Haciendo múltiples consideraciones, las cuales se explican conforme se desarrolla este subcapítulo, se ha considerado también la disponibilidad de información a la hora de la toma de decisiones en cuanto a uso de escalas, geoinformación y manejo de atributos de estos. Sabiendo que mucha de la información inherente a riesgos requiere formación específica en el tema, se ha realizado consultas a diferentes profesionales para complementar la información.

La consulta o juicio de expertos es una herramienta válida dentro de la investigación para validar información que se busca utilizar

en una metodología, según Jazmín Escobar y Ángela Cuervo (2008) es "una opinión informada de personas con trayectoria en el tema, que son reconocidas por otros como expertos cualificados en éste, y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones".

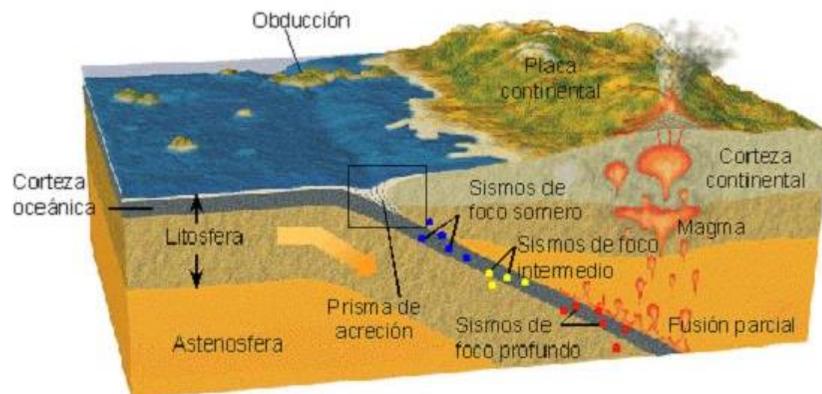
En este caso se ha recurrido a varios profesionales de la materia, como principal asesor de la investigación se ha contado con la ayuda del Ing. Luis Antonio Matute Díaz, Ingeniero Civil de la Universidad de Cuenca (2001), máster en Ciencias en Ingeniería Civil, Mención Ingeniería Geotécnica (2005) Profesor de Mecánica de Suelos y de Geotecnia, Ingeniero Geotécnico con más de 10 años de experiencia, entre otros logros. Además de ello se ha consultado con un ingeniero en geología y geotecnia, un ingeniero civil con doctorado dinámica de estructuras, un ingeniero en sistemas con 10 años de experiencia en manejo de procesamiento de información pública y privada y varios arquitectos planificadores que han trabajado tanto en ordenamiento urbano como territorial. Se ha consultado mediante encuestas y entrevistas semiestructuradas con el fin de solventar experticias que ha requerido la investigación.

Una de las decisiones que se ha tomado en torno a la investigación, es la zona ecuatoriana que intervenir, en este caso, la Sierra Ecuatoriana. Se ha escogido esta región siguiendo múltiples criterios como la disponibilidad de información, existencia de investigaciones previas, número de ciudades intermedias en el territorio, entre otros. Cada una de las regiones del Ecuador tiene diferentes características físicas, que, en

relación con los riesgos, poseen distintas probabilidades y formas de responder a los desastres naturales. Con respecto a la región Costa se evidenció una mayor probabilidad de desastres de tipo inundación y sísmico, por su tipología de suelo, por las características geomorfológicas y sus bajas pendientes de terreno, así como, su proximidad a focos sísmicos, exactamente por su cercanía al perfil costero.

Figura 3.1.1. Convergencia continental – oceánica.

La litosfera continental es más ligera y gruesa que la oceánica. Por esta razón, al converger ambas la oceánica se introduce bajo la continental.



Los terremotos según la profundidad del foco sísmico se clasifican en:

Someros, profundidad menor de 70 km.

Intermedios, foco entre 70 y 300 km.

Profundos, foco entre 300 y 700 km.

Fuente: (Vega, 2018)

En la Sierra ecuatoriana, si bien la distancia con los posibles focos sísmicos es mayor, existe la presencia de la cordillera de los Andes,

por lo que se suma el peligro volcánico, y existe presencia de fallas geológicas activas, además de diferentes tipos de unidades geológicas y litológicas que influyen en la respuesta ante movimientos telúricos. La región Amazónica posee baja probabilidad de sismos, más bien esta región está sujeta a peligros de tipo de inundación por su clima húmedo, gran presencia de cuerpos de agua y bajas pendientes. La región insular por otro lado, aunque es un territorio propenso a peligros de distinta clase, principalmente volcánico, sísmico e hidrológico no presenta grandes focos poblacionales y carece de ciudades intermedias, las cuales son el sujeto de este estudio.

Para definir correctamente y de manera acertada las zonas afectadas por riesgos de deben considerar muchos factores, sin embargo, se debe reflexionar que para cumplir con la posibilidad de que la información sea sometida a geoprocesos, la misma debe ser posible mapearla, es decir, que se puede reflejar una realidad mediante un mapa, por lo tanto, a pesar de hallar información posiblemente útil y que posibilite enriquecer el proceso se debe evaluar y considerar su beneficio para el posterior geoprocesamiento de datos.

Para un primer acercamiento a los factores incidentes en el tema de riesgos, se ha realizado la primera clasificación -cabe indicar que cada factor puede tener una diferente asignación dependiente la escala que se maneje- la cual se ha construido conjuntamente con consulta a expertos en varias disciplinas y en base a entrevistas semiestructuradas:



Tabla 3.1.1. Clasificación de variables según capacidad de ser mapeado.

VARIABLES INFLUYENTES PARA LA DETERMINACIÓN DE RIESGOS	SE PUEDE MAPEAR	DIFÍCILMENTE SE PUEDE MAPEAR	NO SE PUEDE MAPEAR
Altura edificaciones	x	x	
Densidad poblacional	x		
Desagües siguen cauce natural		x	x
Infraestructura para servicios de agua	x	x	
Emplazamiento de edificaciones en zonas de inundación de ríos	x		
Equipamiento urbano vulnerable	x		
Estado de conservación edificación		x	x
Fallas geológicas	x		
Inventario de fenómenos de remoción de masas	x		
Material edificaciones	x	x	x
Microzonificación sísmica – efecto de sitio	x		
Pendientes	x		
Permeabilidad	x		
Intensidad de lluvias	x		
Peligro volcánico	x		
Sismo de diseño	x		
Textura del suelo (granulometría)		x	
Unidades geológicas/litológicas	x		
Uso de suelo	x	x	
Vegetación	x		

Fuente y elaboración: Propia.

Después del análisis mostrado se hace una priorización de uso en el tema de factores a utilizar, y se trata de unificar factores o en su defecto, establecer conexiones que permitan su utilización de manera indirecta, esto se realizó con un grupo multidisciplinario de especialistas locales, con el fin de recabar información desde diferentes puntos de vista y reflejar una mejor conformación de la metodología.

Ejemplificando, las características de edificación es un tema que indudablemente tiene principal importancia en la respuesta en caso de sismo, sin embargo es difícilmente cartografiable, o al menos no podemos partir de la suposición que todos los municipios disponen de esta información completa y actualizada predio a predio, por lo que, en primera instancia se determina establecer un cambio de escala, en este caso se definirá por sector de planeamiento; además de ello las **características de edificación** como son: materiales, tipo de implantación, estado de conservación, densidad de viviendas, entre otros; tienen directa relación con el **número de pisos (altura de edificación)** permitido por sector de planeamiento, y ya que este es un factor más **manejable estadísticamente**, suponemos que todos los municipios contarán con esta información ya procesada y que responde a un análisis previo al momento de realizar la etapa de diagnóstico de los planes de ordenamiento urbano aprobados por los municipios, dicho esto, se toma la decisión de trabajar con este, para fines prácticos y facilidad de mapear.

En cuanto a factores como, si los desagües de agua construidos coinciden con el desalojo de agua natural, claramente influye



con la susceptibilidad a inundaciones, ya que la capacidad de filtrar del suelo es diferente, y a través del tiempo la naturaleza de la mejor manera los medios para responder ante estos fenómenos, existen factores más importantes, y más fáciles de mapear, por lo que, en este momento se eliminan algunos de los factores como: estado de conservación edificación, emplazamiento de edificaciones en zonas de inundación de ríos, textura del suelo (granulometría), ya que se encuentran reflejados en otros factores, como son alturas de edificación, cuerpos de agua, unidades litológicas, respectivamente, entre otros. Esta decisión es tomada en base a consulta con expertos, con el fin de facilitar el geoprocésamiento de la información a utilizar y no ignorar información que pudiera resultar fundamental.

Habiendo reducido ya los factores influyentes, estos a su vez deben ser clasificados según su naturaleza, pudiendo ser amenaza o vulnerabilidad.

Tabla 3.1.2. Clasificación de factores según su naturaleza – amenaza y vulnerabilidad.

FACTORES INCIDENTES	AMENAZA	VULNERABILIDAD
Altura edificaciones		x
Cuerpos de agua	x	
Densidad poblacional		x
Infraestructura para servicios de agua		x
Equipamiento de emergencia		x
Fallas geológicas - sismo de diseño	x	
Intensidad de lluvias	x	
Inventario de fenómenos de remoción de masas	x	
Microzonificación sísmica - efecto de sitio	x	
Peligro volcánico	x	
Pendientes	x	
Unidades geológicas/litológicas	x	
Uso de suelo		x
Vegetación – cobertura vegetal	x	

Fuente y elaboración: Propia.

En el siguiente subcapítulo se muestra las características de cada uno de ellos, escalas, alcances, contribución, características del shape, entre otras, que se utilizó para realizar el geoprocésamiento de la metodología descrita posteriormente.



3.2 Caracterización de variables incidentes para la definición de zonas de riesgo

Concurren diferentes factores que se deben evaluar para definir zonas de riesgo, cada uno con naturaleza diferente, tienen distintos niveles de trascendencia, dependiendo de su importancia a la hora de suscitarse un desastre y cómo responde frente a él. Cada uno de estos factores interactúan entre sí, para obtener zonificaciones con otros niveles de susceptibilidad, cada uno contribuye para mantener, crear o incrementar las consecuencias que un fenómeno natural pueda desencadenar.

3.2.1. Amenazas

3.2.1.1. Cuerpos de agua

La presencia de cuerpos de agua y fuentes hídricas dentro del límite urbano de una ciudad, representan una posible amenaza

para las edificaciones e infraestructuras que se encuentren cerca de ellas. Pueden localizarse sobre la superficie terrestre o en el subsuelo, dentro de este grupo, se puede encontrar ríos, quebradas, esteros, lagos, océanos cercanos, represas, entre otros.

En la antigüedad los pobladores buscaban fuentes de agua para regar sus cultivos, alimentar sus animales, realizar el aseo, entre otros, por lo cual, los asentamientos humanos tendían a ubicarse en sitios regados por agua dulce, en contraste, actualmente el inadecuado manejo de las fuentes de agua y el emplazamiento de construcciones cercanas a cuerpos de agua, provocan que frente a posibles desastres naturales (inundaciones) puedan verse como principales afectados, produciendo daños materiales, económicos y pérdida de vidas.

El shape que se utiliza cuenta con los cuerpos de agua existentes en la ciudad, a una escala recomendada de 1:5 000. Para este shape no existe dificultad de información y difícilmente requiere la actualización de la misma, a menos que haya cambiado cauces de ríos, rellenado lagunas o similares, que generalmente no sucede.

Fotografía 3.2.1. Desborde de río Tomebamba dentro del límite urbano, Cuenca.



Fuente: (El Productor, 2017)

3.2.1.2. Fallas geológicas – sismo de diseño

Al analizar las fallas geológicas se puede encontrar muchos estudios donde son mapeadas en el Ecuador para fines geológicos, sin embargo, para el objetivo para que persigue esta investigación, solo se consideró las fallas que se encuentran activas, es decir, causan un constante cambio en las características del suelo, desencadenando consecuencias mecánicas. A partir de las fallas geológicas existentes a nivel nacional se ha construido y normado mediante la Norma Ecuatoriana de Construcción, un coeficiente que se debe utilizar al momento de realizar cálculos de estructuras de inmuebles, este

factor se lo denomina «Factor Z», este “representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad” (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014) y ha dividido al territorio nacional en seis zonas sísmicas.

“El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI” (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014).

Tabla 3.2.1. Clasificación de zonas del Ecuador, según sismo de diseño.

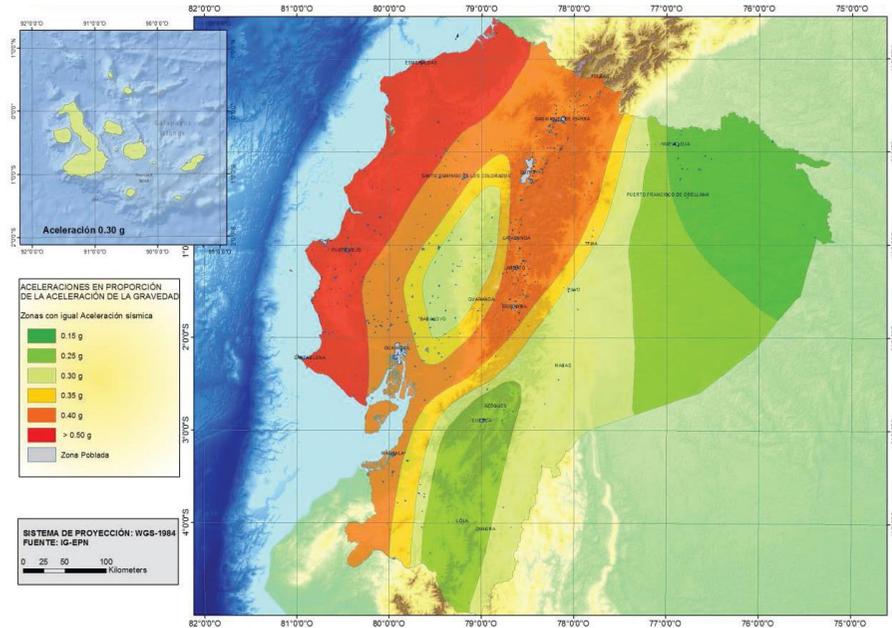
Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	>0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente y elaboración: Norma ecuatoriana de la construcción, 2014.

“Todo el territorio ecuatoriano está catalogado como amenaza sísmica alta, con excepción del:

- Nororiente que presenta una amenaza sísmica intermedia.
- Litoral ecuatoriano que presenta una amenaza sísmica muy alta.” (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014)

Figura 3.2.1. Mapa de clasificación de zonas del Ecuador, según sismo de diseño.



Fuente y elaboración: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014)

A través de la Figura 3.2.1 se evidencia la marcada diferencia entre las zonas del Ecuador -Costa, Sierra, Amazonía y Región insular-. Este factor es primordial a la hora de realizar los diseños estructurales, por ello se utilizan diferentes factores de seguridad con el fin de asegurar la vida de las personas que ocupen estas edificaciones.

Como se muestra en el mapa, no existe una desagregación de cada territorio urbano donde se puede desarrollar la

metodología, sino más bien, este factor juega un papel importante al relacionarse con otros, como se mostrará posteriormente en la metodología, además, se refleja influyente al momento de comparar los índices de riesgo entre ciudades.

Se debe recalcar que en este factor se refleja claramente la carencia de información desagregada a nivel nacional, región, provincia y ciudad, el mapa muestra grandes manchas en el territorio nacional, sin mostrar una diferencia puntual entre las diferentes ciudades del territorio, sino que más bien se clasifica arbitrariamente sin hacer un análisis extenso del territorio nacional.

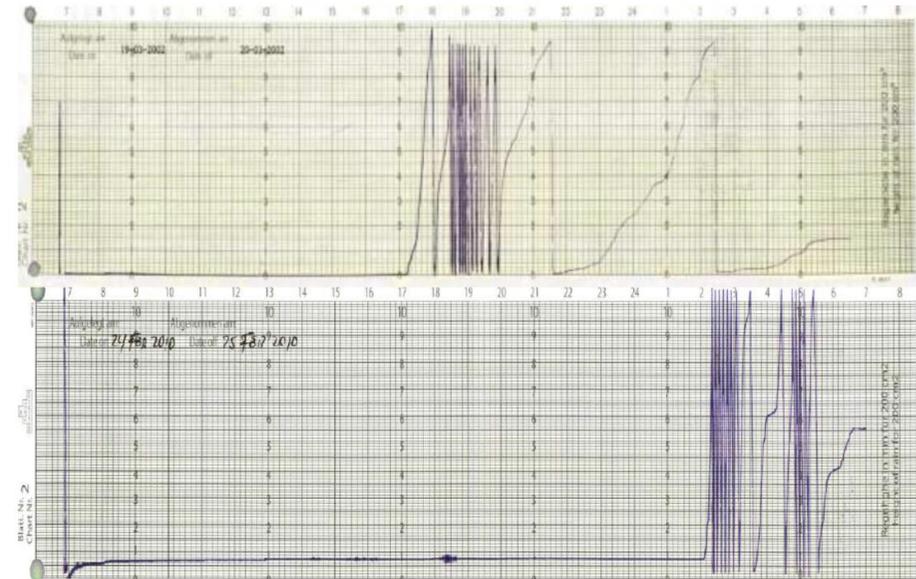
3.2.1.3. Intensidad de lluvias

Generalmente, para el análisis de características físicas de los territorios se utilizan isoyetas, que son grupos homogéneos de territorio cuya similitud, yace en que han recibido la misma media de lluvia anual, por lo cual, se relaciona directamente con las precipitaciones atmosféricas y pluviosidad. Las lluvias, lloviznas, granizo, neblina y otras formas de condensación, combinadas con otros factores revisados en el presente estudio, desembocan directamente como principales componentes que inciden en una posible inundación.

No obstante, para el presente estudio se realizó la metodología con los picos más altos de lluvia, ya que, las isoyetas no reflejan exactamente el comportamiento que desencadena inundaciones, esto sucede porque el suelo actúa como un dren de aguas lluvias, el cual por su propia naturaleza tiene una

capacidad de desaguar cierta cantidad de agua en una unidad de tiempo. El problema sucede cuando esta cantidad de agua es mayor a la que el suelo puede drenar, por esta razón, las precipitaciones de lluvia durante una unidad de tiempo (un año) es ambigua y poco acertada; lo correcto es utilizar los picos de mayor caída de lluvias durante un día o si se puede precisar por hora. Esta información está disponible en el Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional del Ecuador (INAMHI), la cual, se ha registrado a través de la recolección de datos de las estaciones pluviográficas situadas en el territorio nacional, a cargo del INAMHI y DGAC (Dirección General de Aviación Civil del Ecuador), por lo cual es información confiable y de manejo público.

Figura 3.2.2. Faja pluviográfica.



Fuente y elaboración: Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional del Ecuador, 2014.

De acuerdo con las lecturas dadas por cada una de las estaciones, se corrige estadísticamente los registros, para minimizar fallas de los resultados, obteniendo las intensidades de lluvia en centímetros cúbicos por hora.

Este factor depende el número de estaciones que cuente el territorio urbano donde se aplica la metodología, por lo general, cuentan con una o dos estaciones, sin embargo, al igual que el sismo de diseño, este factor toma importancia al relacionarse con otros, o entre ciudades. Se recomienda utilizar información actualizada para mejores resultados.

3.2.1.4. Inventario de fenómenos de remoción de masas

Se observó que en el método de Brabb considera como uno de los principales componentes este factor. Un inventario de fenómenos de remoción de masa es un registro ordenado de la localización y características, atributos en el caso de geoinformación, ubicados en el sitio donde se ejecuta el estudio. Los fenómenos de remoción de masas “se definen como movimientos de una masa de roca, suelo o detritos de una ladera en sentido descendente que afectan a los materiales en los escarpes. Estos movimientos se producen como consecuencia de una fuerza gravitatoria” (Aguilar, C., Verenice, S., Morejón, C., y Javier, F, 2017)

“El término FRM comprende en su mayoría todas las variaciones de movimiento de laderas, incluyendo caídas de roca, volcamientos y flujo de escombros, que pueden o no involucrar pequeños deslizamientos” (Varnes, 1984)

Los fenómenos de remoción de masas se clasifican de distintas formas, sea por tipo de movimiento, extensión, material de deslizamiento, entre otros. Según el tipo de movimiento existen los siguientes:

- Reptación: es un tipo de movimiento lento, el cual se presenta en materiales finos (Geología Ambiental, 2017) (

Figura 3.2.3. Tipo de fenómeno de remoción de masas: reptación.



Fuente: (Geología Ambiental, 2017)

- Deslizamiento: se presenta movimiento de material por acción de la gravedad sobre una superficie regular (Geología Ambiental, 2017)

Figura 3.2.4. Tipo de fenómeno de remoción de masas: deslizamiento



Fuente: (Geología Ambiental, 2017)

- Desprendimiento: tipo de deslizamiento que no se da sobre una superficie (Geología Ambiental, 2017)

Figura 3.2.5. Tipo de fenómeno de remoción de masas: desprendimiento.



Fuente: (Geología Ambiental, 2017)

Para esta variable se recomienda una escala 1:10 000, aunque, por lo general la información se encuentra a 1:25 000. No es común tener fenómenos de esta naturaleza, razón por la cual, su actualización se debe efectuar sólo en caso de suscitarse un movimiento significativo.



3.2.1.5. Microzonificación sísmica – efecto de sitio

Una predicción cuantitativa y cualitativa de la respuesta ante un movimiento sísmico del terreno es un factor clave para valorar y mitigar los desastres sísmicos. Los efectos geológicos, de rigidez del suelo y de la topografía afectan significativamente el contenido de frecuencia- amplitud y la duración del movimiento en un sitio respecto al de la roca subyacente. Estas alteraciones, conocidas como efectos locales, muestran la necesidad de identificarlas y valorarlas en la estimación de la peligrosidad sísmica local, especialmente en áreas urbanas (Vidal, García, Navarro y Valverde, 2017)

En una microzonificación se deben agrupar superficies de suelo con comportamiento similar frente a un sismo. Como es de suponerse la microzonificación sísmica está estrechamente relacionada con el efecto de sitio. “Los efectos de sitio son modificaciones en amplitud, duración y contenido frecuencial que experimentan las ondas sísmicas cuando llegan a la superficie. Entre más blando sea el tipo de suelo que exista bajo la estación, mayor será la amplificación” (Universidad de Costa Rica, 2018)

En el Ecuador existe una zonificación sísmica previamente realizada (la cual también se toma en cuenta para la presente investigación), sin embargo, en áreas urbanas amerita un estudio de detalle para definir una microzonificación.

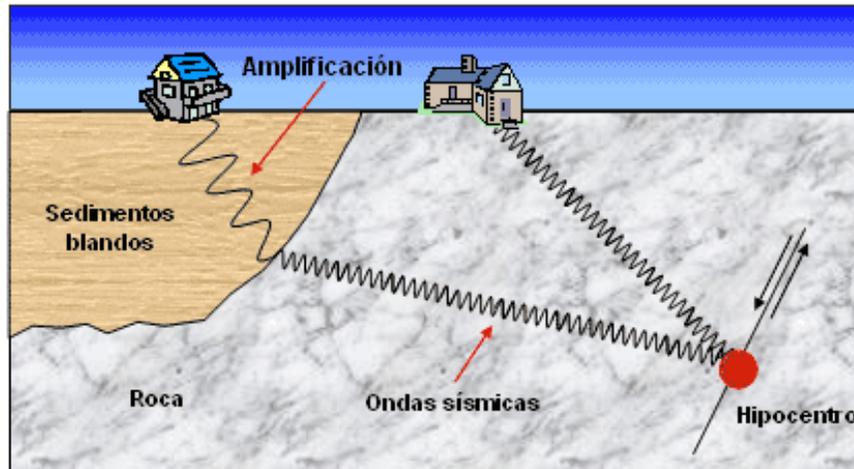
La Norma Ecuatoriana de Construcción, (2014) especifica que las ciudades que tengan una población mayor a 100.000 habitantes

deben realizar una microzonificación, ya que siendo este el caso, como resultado abarca una gran extensión, y esto implica que debe realizarse un estudio de detalle con el fin de responder mejor, y poder especificar de manera más efectiva los reglamentos para diseño estructural de edificaciones.

En términos generales, la microzonificación sísmica es el proceso de estimación de la respuesta de la estructura local del terreno bajo la excitación sísmica y por lo tanto de la variación de las características de las sacudidas sísmicas en la superficie. Este proceso consiste en subdividir el área en zonas considerando las características de las sacudidas y de los peligros inducidos (licuefacción, deslizamientos, asentamientos, etc.) (Vidal, García, Navarro y Valverde, 2017)

Para entender cómo funciona el efecto de sitio, se ejemplifica con el siguiente diagrama:

Figura 3.2.6. Diagrama para entender el efecto de sitio.



Fuente y elaboración: (Universidad de Costa Rica, 2018)

La escala ideal del shape que se debe utilizar será de 1:10 000, a pesar de que, generalmente esta información se encuentra a 1:25 000, con atributos que dispongan el tipo de suelo de cada uno, esta información no requiere de actualización. La forma óptima cuantitativa de realizar la microzonificación del territorio es mediante lecturas de la velocidad de onda de corte (V_s) en el suelo con estudios geosísmicos de refracción.

3.2.1.6. Peligro volcánico

En el territorio ecuatoriano, según el Instituto Geofísico, existen cerca de 27 volcanes potencialmente activos, incluyendo volcanes de las Islas Galápagos, de ellos los siguientes volcanes se encuentran en la Sierra del Ecuador: Cayambe, Reventador,

Guagua, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Sangay y Potrerillos – Chacana, por lo cual, es inevitable hablar del peligro volcánico en el país. La última erupción registrada es del volcán Tungurahua en febrero del 2016, creando conflicto en las urbes cercanas a él.

“El Ecuador está ubicado en una región con volcanes activos y, por lo mismo, es un país de alto riesgo a las erupciones. Por ello, lo mejor es vivir en una zona segura. Antes de comprar un terreno o una vivienda, es importante asegurarse que el terreno que se adquiere está ubicado no se encuentre en una zona de riesgos” (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017)

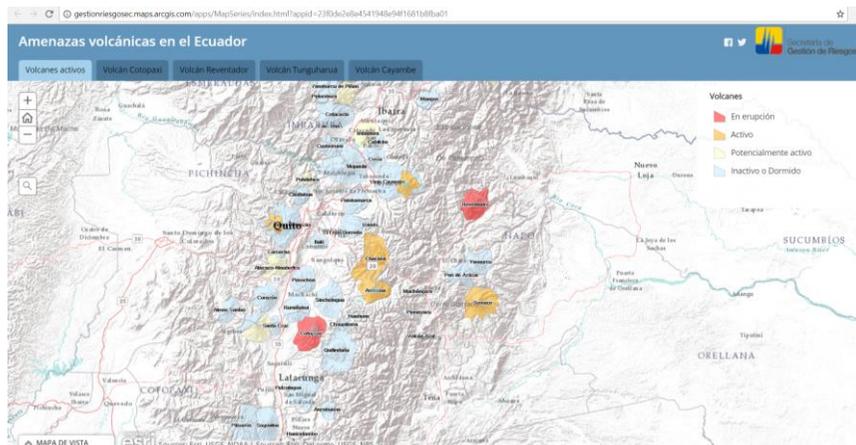
Entre los peligros que conlleva vivir cerca de un volcán se tiene el sísmico volcánico. La gran mayoría de volcanes casi siempre presentan actividad sísmica, aun cuando se encuentren “dormidos” o en períodos de calma. Esta actividad sísmica suele estar representada por la ocurrencia de unos pocos sismos diarios, que pueden ser solamente detectados mediante una red de sismógrafos instalada en el volcán (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2017).

Se evidencian peligros por gases volcánicos, como los de origen magmático y están compuestos principalmente por vapor de agua, sin embargo, existen otros gases que pueden resultar nocivos para quien los inhale, como son: dióxido de azufre, ácido clorhídrico, dióxido de carbono o monóxido de carbono. Pudiendo provocar irritación en los ojos, boca, piel y nariz de las personas, así como ser perjudicial para animales y vegetación.

Adicional a estos peligros, se encuentran los flujos de lava, domos de lava, flujos piroclásticos, lluvias de cenizas y piroclastos, flujos de lodo y escombros, avalanchas de escombros, entre otros.

“Cuando el volcán expulsa materiales también arroja ceniza que, por el viento y la fuerza de la explosión, llega a afectar a sitios alejados de las zonas de riesgo” (El Comercio, 2011). Esta ceniza puede causar problemas respiratorios sobre todo a quienes han sufrido enfermedades respiratorias anteriormente, además, puede tapar desagües y alcantarillados, acumularse sobre las cubiertas de las edificaciones, y otras complicaciones.

Figura 3.2.7. Geoportal, Amenazas volcánicas en el Ecuador.



Fuente: (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017)

La SGR ha instaurado un geoportal, donde los usuarios pueden acercarse e identificar las zonas afectadas por peligros volcánicos, demostrando como poco a poco las nuevas

tecnologías van aportando a un nuevo desarrollo, fortaleciendo la interacción de las personas con la información pública, facilitando de una manera innovadora la comunicación de la geoinformación.

La escala ideal del shape para trabajar es 1:25 000, a pesar de ello, esta información está disponible en 1:50 000, y es igualmente válida, dada la naturaleza del estudio, este tipo de información no es necesario actualizarla, a menos claro que entrara en modo activo algún volcán.

3.2.1.7. Pendientes - Topografía

La topografía a nivel cartográfico está definida por las curvas de nivel y las pendientes que ellas describen. “La pendiente es una forma de medir el grado de inclinación del terreno. A mayor inclinación mayor valor de pendiente, se expresa en porcentaje o grados; medida calculando la tangente de la superficie” (Geogra, 2017)

El tipo de cartografía no es incidente por sí sola, más bien son los factores con los cuales interactúa quienes provocan un posible siniestro o catástrofe. Tiene una influencia directa en las consecuencias, tanto en el caso de movimientos sísmicos como en posibles problemas de inundaciones y deslaves. Ejemplificando, en caso de sismo, donde la topografía del territorio no tiene una diferencia de altimetría significativa, las secuelas serían de menos influencia en el medio que si sucediera en el caso opuesto, por otro lado, en las inundaciones, las formas topográficas que rodeen los cuerpos de agua presentes, o en su

defecto, las desembocaduras de agua en caso de existir son de vital importancia cuando existieran precipitaciones altas en la región de análisis.

La escala adecuada para un correcto desarrollo de este análisis será 1:5 000, en donde las curvas de nivel se encontrarán cada 1.00 m, 1.50 m o 2.00 m como máximo. La actualización de la información es necesaria solo en caso de cambios bruscos en la topografía del terreno; se considera que, todo el tiempo se están realizando movimientos de tierras a nivel urbano, de cualquier manera, por la naturaleza del estudio no amerita una actualización, a menos que sean representativos, y se lo deberá evaluar con un experto en la materia.

3.2.1.8. Unidades geológicas/litológicas

Las unidades geológicas y litológicas se diferencian según la escala que se requiera hacer el análisis, en este caso, se deberá utilizar unidades litológicas, dada la extensión del terreno urbano a estudiar. “Una unidad litológica es un cuerpo rocoso que presenta características de composición química y mineralógica más o menos homogéneas, tiene límites definidos con otras unidades y una edad de formación determinada” (Red Sismológica Nacional, 2015).

La realización del mapa de unidades litológicas superficiales requiriere, previamente, una serie de estudios relacionados con la fotointerpretación y actualización de las cartas geológicas del área; igualmente, de la comprobación iterativa en campo de los mapas preliminares que zonifican indirectamente las unidades de

material cortical (mapa de unidades homogéneas) (Medina, D., Montilla, N., Monsalve, Z., y Pimstein, L., 2012)

Figura 3.2.8. Unidades geológicas del Ecuador.



Fuente y elaboración: Instituto Geográfico Militar, 1982.

En el caso del shape de unidades litológicas la escala ideal es 1:10 000, no obstante, generalmente esta información se encuentra en 1:25 000 o 1:50 000; la cual no requiere actualización, pues, muy difícilmente puede cambiar la

naturaleza geológica del suelo, salvo grandes actuaciones antrópicas.

3.2.1.9. Vegetación – cobertura vegetal

La cobertura vegetal incide de modo que la vegetación boscosa al tener mayor altura, las raíces tienen mayor profundidad, ayudando, al menos de manera superficial, a controlar movimientos de masa; influye de manera positiva en la erosión, porque, no permite que está se genere, “la vegetación abundante y las raíces profundas sirven para estabilizar el suelo y limitar el potencial de deslizamiento” (American Planning Association, 2017). Asimismo, en el caso de vegetación media y baja ocurre lo mismo, pero en menor escala. La presencia de vegetación potencia la retención de agua en el terreno, el cual sirve para suavizar los picos de crecidas de cuerpos de agua y permite un desalojo de lluvias paulatino en vez de violento.

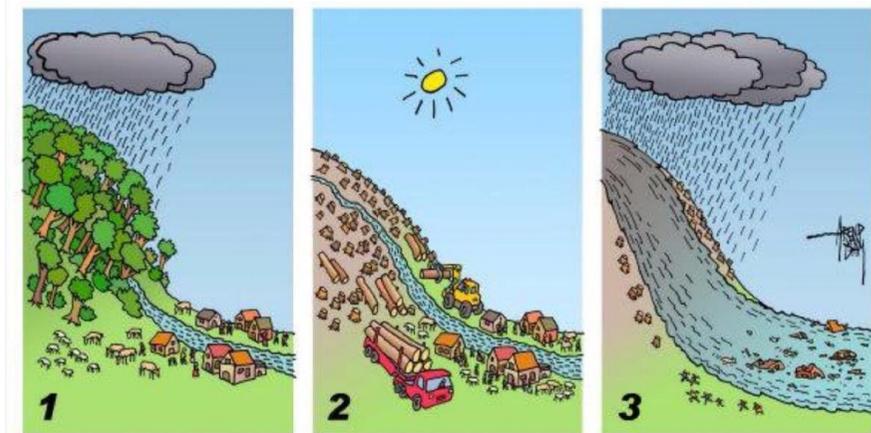
En el proceso de urbanización los humanos deforestan grandes áreas de terreno, se crea vías y plazas, en vez de parques o superficies que permitan permeabilidad del suelo, causando su deterioro, eliminando el dren natural de agua y acabando con la flora y fauna autóctona del sitio.

Para la American Planning Association (2017) remover plantas de raíces profundas desestabiliza enormemente el suelo en una ladera e incrementa el potencial de deslizamiento. Como ejemplos de ello, incluyen la tala de árboles para crear pastizales, tierra para la agricultura y la creación de campos para lotes de casas, sobre todo en áreas urbanas. Si bien, la presencia del

hombre y la ciudad es inevitable, existen formas de desarrollo amigables con el medio ambiente y la vegetación, una planificación responsable y un crecimiento urbano cuidando la naturaleza preexistente, no se trata de dejar de hacer ciudades o seguir como hace miles de años, sino de crear conciencia de cómo hacer ciudad.

Para el empleo de este shape a una escala de ciudad y dada la incidencia del mismo se recomienda tener una escala óptima de 1:5 000, sin embargo, por la dificultad de obtención de la misma se podrá utilizar 1:10 000, procurando recibir asesoramiento de un técnico que maneje la materia.

Figura 3.2.9. Consecuencias de la deforestación.



Fuente y elaboración: Alga, 2017.

3.2.2. Vulnerabilidad

3.2.2.1. Altura de edificación - características de edificación

Como factor agravante en caso de ocurrir un siniestro se encuentran las características de edificaciones. Habiendo expuesto el tipo de análisis a realizar en el territorio, se debe insistir en que este factor no es necesario que se lo diferencie de predio a predio, ya que al trabajar a una escala aproximada de 1:5 000 la información muy desagregada podría provocar dificultad de entendimiento global del sitio de análisis.

En este caso, para facilitar el procedimiento y obtención de la información geográfica se deberá zonificar el territorio de acuerdo con los sectores de planeamiento, ya que estos generalmente responden al tipo de crecimiento de ciudad y las características homogéneas del tipo de uso y ocupación del suelo.

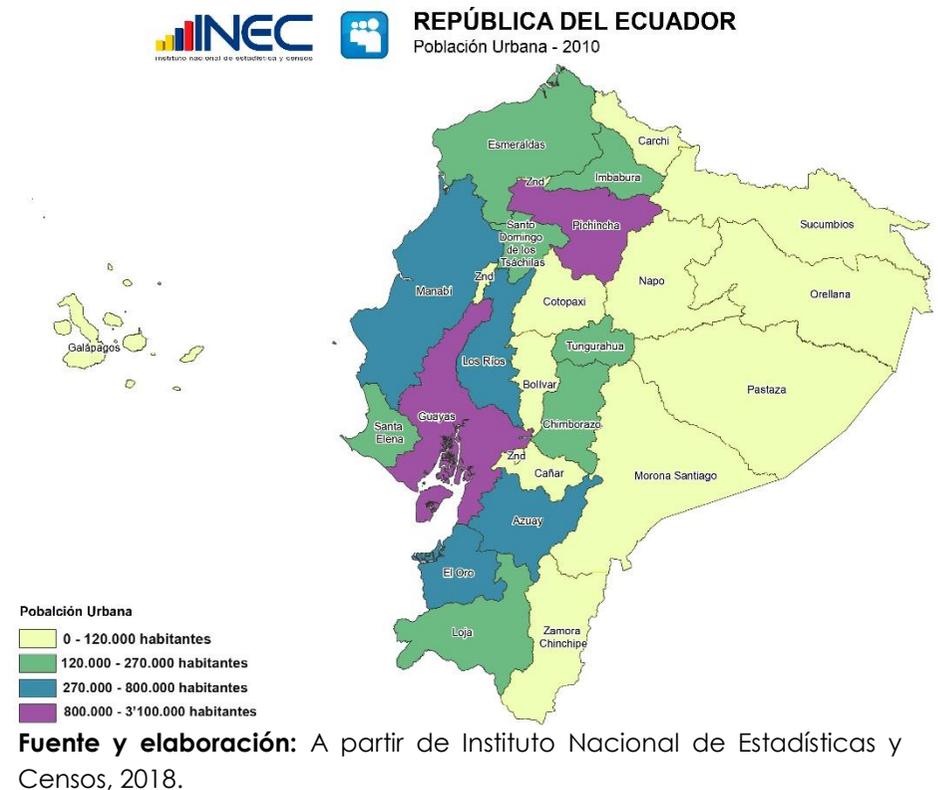
Como se explicó anteriormente, se utilizará como factor que refleje las características de edificación la altura de edificaciones, como atributo más fácil de analizar con fines prácticos y que posibiliten agilizar el geoprocésamiento de la información.

3.2.2.2. Densidad poblacional

La densidad poblacional es incidente como factor de vulnerabilidad, puesto que, aquellos lugares que mostrasen mayor número de habitantes por unidad de territorio deben ser de igual manera, mayormente protegidos ante posibles desastres

naturales. Sabiendo que el área de estudio es una ciudad de clase intermedia, se entiende que está consolidada, sin embargo, dependiendo del tipo de ciudad pueden existir distintos tipos de ocupación, y por consiguiente, presencia de población, teniendo especial cuidado en sitios donde existan asentamientos informales que vivan en hacinamiento.

Figura 2.4.10. Distribución de la población urbana en el Ecuador, por provincia.





En el país, la principal fuente de información para definir este factor de vulnerabilidad es el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). Este organismo ha dividido el territorio por sectores censales para facilitar el levantamiento de información, por lo cual, no cuenta con una escala formal, sino se acopla a la población y su distribución. Para el estudio se acogió este tipo de sectorización, con el propósito de trabajar con información oficial.

3.2.2.3. Infraestructura para servicios de agua

Se refiere a la existencia de grandes colectores y descargas adecuadas. Frente a suceder precipitaciones con altos niveles de agua por unidad de tiempo, es necesario contar con sistemas de desalojo de aguas lluvias óptimos para evitar inundaciones y problemas de esta naturaleza. Independientemente de la existencia de cuerpos de agua en el territorio urbano, un alcantarillado inexistente o en malas condiciones, desemboca en inundaciones y deslizamientos, esto sucede muy comúnmente en la zona costera, sobre todo, en la época de invierno.

Se han realizado esfuerzos por minimizar el golpe de las lluvias en la época de invierno, "la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo demostró que un dólar destinado a prevenir ahorra nueve dólares en respuesta", asegura El Comercio (2018). También se ve afectada la Sierra Ecuatoriana, "en el informe de Riesgos se indica que al menos 37 835 personas son afectadas directamente de una población de 189 000 habitantes, asentados en zonas vulnerables" (El Comercio, 2018), por lo que, no se puede pasar por alto este factor como desencadenante

de inundaciones, en caso de no existir o encontrarse en malas condiciones de uso por sus habitantes.

Fotografía 3.2.2: Inundaciones en el Ecuador.



Fuente: Diario El Universo, 2017.

El shape a utilizar en este factor será en formato de líneas, el cual se aplica un buffer, de modo que, atienda la cobertura real de los colectores. Su información requiere actualización y por lo general quienes manejan estos datos son las Empresas Públicas Municipales de Agua Potable y Alcantarillado, quienes tienen la obligación de contar con información precisa y a detalle, por lo que la escala puede ser hasta 1:1 000 para la aplicación de esta metodología.

3.2.2.4. Equipamiento de emergencia

Tal como la densidad poblacional pone especial atención y cuidado en sectores del territorio donde existe un mayor número de habitantes por unidad de área, en el caso de equipamientos de emergencia también se debe clasificar como sitios de especial vulnerabilidad.

Dentro de este factor intervienen los equipamientos de educación, salud y estaciones de emergencia (o respuesta a emergencia), dado que, en estos sitios se alberga sectores de la población con necesidades especiales. Los centros educativos, tales como: colegios, escuelas, guarderías, entre otros, quienes aquí residen son en su mayoría jóvenes o niños, un sector de la población más vulnerable.

Los equipamientos de salud, tales como: hospitales, clínicas, centros de salud, entre otros, son las instituciones que deberán responder a desastres, razón por la cual, las instalaciones deben estar intactas, o lo mejor conservadas posibles, de modo que, su contestación sea positiva y satisfactoria.

Por último, se encuentran las estaciones de emergencia, edificios sede de gobierno, estaciones de bomberos, sitios públicos con gran afluencia de habitantes, etc., estos lugares tendrán especial vigilancia debido a la mayoritaria presencia de pobladores dentro de ellos, a sus instalaciones categóricamente registradas, y al tipo de respuesta que facilitarán frente una catástrofe, asimismo, deberán permanecer con sus infraestructuras intactas.

Además, que individualmente tienen sus propias características de vulnerabilidad, se debe agregar que, sobre todo en el caso de centros educativos, sirven de albergues cuando se suscita un desastre; no solo en sí mismos, son un equipamiento de emergencia y de atención, sino que, sucedida la catástrofe, sigue brindando sus servicios y toma otro tipo de uso y función.

“En el cantón Rumiñahui, ante la eventual erupción del volcán Cotopaxi, tienen listos ocho de los 23 albergues, donde se aspira acoger a un promedio de 1.200 familias” (La Hora, 2015).

Fotografía 3.2.3: Unidad educativa La inmaculada, albergue. Cotopaxi.



Fuente: (La Hora, 2015)



El shape que se utiliza para este factor, fue en formato puntos, a escala estimada mínima 1:10000, es imperante que sea información actualizada, pues, de manera permanente surgen más equipamientos vulnerables y de servicio a la comunidad o en su defecto pueden cambiar su ubicación. Esta información debe ser de manejo de los GAD, además se puede complementar con ministerios como el Ministerio de Salud, Ministerio de Educación y Ministerio del Interior.

3.2.2.5. Uso de suelo

El tipo de uso de suelo urbano se refiere a la principal actividad que se desarrolla sobre dicho territorio, se concluye que las acciones que aquí se desarrollen son influidas de diferentes formas cuando se presenta una situación de riesgo.

Se debe recalcar que el presente análisis, al ser ubicado en territorio urbano, tiene una gran diferenciación en cuanto al uso de suelo a nivel territorial. La clasificación del suelo en el territorio se relaciona principalmente con actividades agropecuarias, antrópicas, asociación agropecuaria, bosque – tierra forestal, cuerpos de agua, eriales y vegetación arbustiva y herbácea, mientras que, en el territorio urbano las actividades son las de ciudad, es decir, las de carácter antrópico, que describen el tipo de acción humana principal que se realiza en el sitio.

La diferenciación de usos define el tipo de cuidado y nivel de vulnerabilidad que posee el territorio, según el uso destinado en los planes de ordenamiento urbano se puede tomar decisiones al

momento de asignar los niveles de susceptibilidad del suelo y las acciones a tomar sobre ellos.

El factor uso de suelo requiere actualización constante, la cuál se contempla que es información con la que el GAD cuenta en base a estudios para el diagnóstico y en determinantes de uso y ocupación de suelo de planes vigentes o anteriores, en base a ella, la unidad a utilizar serán sectores de planeamiento, siguiendo estudios previos.





3.3. Desarrollo metodológico

Identificadas las características de cada uno de los factores que intervienen en la metodología, se procedió a mostrar el desarrollo y relación entre ellos. Para fines de procesamiento y metodológicos, se han dividido los elementos en factores de amenaza y de vulnerabilidad, considerando que, dentro de amenazas, existen varios tipos como se describe a continuación:

3.3.1. Amenazas

3.3.1.1. Amenaza geológica

La amenaza geológica incluye procesos terrestres internos (endógenos) o de origen tectónico, tales como: actividad de fallas geológicas, actividad y emisiones volcánicas; así como procesos externos (exógenos) tales como movimientos en masa: deslizamientos, caídas de rocas, flujos, avalanchas, colapsos

superficiales, licuefacción, suelos expansivos, deslizamientos marinos y subsidencias. Las amenazas geológicas pueden ser de naturaleza simple, secuencial o combinada en su origen y efectos (EIRD, 2018).

3.3.1.2. Amenaza sísmica

Se caracteriza numéricamente la probabilidad estadística de la ocurrencia (o excedencia) de cierta intensidad sísmica (o aceleración del suelo) en un determinado sitio, durante un período de tiempo. Puede calcularse a nivel regional y local, tomando en cuenta los parámetros de fuentes sismogénicas, así como, los registros de eventos sísmicos ocurridos en cada zona fuente y la atenuación del movimiento del terreno (Fundación Venezolana de investigaciones sismológicas, 2018)

3.3.1.3. Amenaza hidrológica

Analiza los fenómenos que se relacionan directamente con el agua en su estado natural, entre ellos: inundaciones fluviales, inundaciones costeras, salinización, erosión, y sedimentación, tempestades y marejadas, aluviones. Asimismo, dentro de inundaciones se pueden distinguir dos principales: "(1) desbordamiento de ríos causadas por la excesiva escorrentía como consecuencia de fuertes precipitaciones, y (2) inundaciones originadas en el mar, o inundaciones costeras, causadas por olas ciclónicas exacerbadas por la escorrentía de las cuencas superiores" (Organization of American States, 2017)

3.3.1.4. Amenaza volcánica

Los volcanes pueden producir una gran variedad de peligros naturales, que pueden afectar a personas, animales, plantas, y el ecosistema en general. Se debe agregar que los volcanes pueden causar afección, aunque estos no estén en erupción.

No es que no existan otros tipos de amenazas, sino que, priorizando, se han definido como las más importantes e imperantes por estudiar dentro de la ciudad en relación al medio físico dentro de la planificación urbana.

3.3.2. Relevancia según factor

A continuación, se muestra un mapa conceptual de la organización de la metodología con sus factores, cada uno aplicado según su naturaleza con relación a la amenaza o vulnerabilidad.

A partir de este análisis, se puede concluir que cada factor interviene de diferente forma, pero tienen mayor o menor importancia dependiendo su condición, por lo que, se ha realizado una ponderación en donde se dan diferentes pesos a cada según la importancia con relación a la amenaza o vulnerabilidad a estudiar.

Figura 3.3.1. Esquema de variables de riesgo: amenaza - vulnerabilidad.



Fuente y elaboración: Propia.

Tabla 3.3.1. Ponderación: amenaza geológica.

Amenaza geológica	
Pendientes	25.00%
Unidades geológicas - litológicas	25.00%
Inventario de fenómenos de remoción de masa	20.00%
Cobertura vegetal	10.00%
Intensidad de lluvias	20.00%
Total	100%

Fuente y elaboración: Propia.



Tabla 3.3.2. Ponderación: amenaza sísmica.

Amenaza sísmica	
Falla geológica – sismo de diseño	40.00%
Micro zonificación sísmica – efecto de sitio	40.00%
Pendientes	20.00%
Total	100%

Fuente y elaboración: Propia.

Tabla 3.3.3. Ponderación: amenaza hidrológica.

Amenaza hidrológica	
Intensidad de lluvias	70.00%
Cuerpos de agua	30.00%
Total	100%

Fuente y elaboración: Propia.

Tabla 3.3.4. Ponderación: amenaza volcánica.

Amenaza volcánica	
Peligro volcánico	100.00%
Total	100%

Fuente y elaboración: Propia.

Tabla 3.3.5. Ponderación: vulnerabilidad.

Vulnerabilidad	
Altura de edificación – características de edificación	45.00%
Densidad poblacional	15.00%
Equipamientos de emergencia	15.00%
Infraestructura para servicios de agua	10.00%
Uso de suelo	15.00%
Total	100%

Fuente y elaboración: Propia.

Estos datos son el resultado de un análisis intensivo, comparación y asesoría de profesionales técnicos en planificación, geología e ingeniería civil, buscando enriquecer los datos desde las distintas ramas, de modo que, respondan a varios puntos de vista y necesidades propias para cada labor.

3.3.3. Disponibilidad e inversión de recursos

Después de realizado este análisis, y recordando que los municipios en su mayoría dependen de la asignación de presupuesto por parte del Estado, no se puede asumir que todos los municipios tienen la capacidad de realizar los estudios necesarios para contar con toda la información aquí expuesta, o bien, la misma no está a la escala necesaria para el estudio, al respecto, se trata de ser sensible con este tema, esbozando un árbol de decisión el cual permita a quienes realicen los estudios, o los municipios que lo contraten priorizar en la obtención de que información se debe invertir, con base a la importancia de ellos y cómo influyen en los resultados finales. Se debe exponer, que conforme se explicó al inicio de este subcapítulo, se realizó esta metodología partiendo de información que está disponible desde los entes estatales o que puedan manejar los municipios, por ello, casi todos los factores se encuentran disponibles, sin embargo, alguno de ellos no lo están, pero son necesarios para una mejor definición de resultados.



Tabla 3.3.6. Ponderación general y disponibilidad: amenazas.

Factor de amenaza	Importancia	Disponibilidad
Pendientes	15.00%	si
Unidades geológicas - litológicas	8.33%	+/-
Inventario de fenómenos de remoción de masa	6.67%	no
Cobertura vegetal	3.33%	si
Intensidad de lluvias	30.00%	no
Fallas geológica - sismo de diseño	13.33%	si
Microzonificación - efecto de sitio	13.33%	no
Cuerpos de agua	10.00%	si
Total	100%	

Fuente y elaboración: Propia.

Establecidas las ponderaciones se obtuvo como factores influyentes dentro de amenazas el factor intensidad de lluvias (30.00%), que se puede utilizar, los resultados del INAMHI. Luego se encuentra el factor pendientes (15.00%), antes bien, no hay problemas de falta de disponibilidad, porque, generalmente los municipios sí cuentan con esta información y en tercer lugar se observa la micro zonificación sísmica – efecto de sitio (13.33%), que se dispone, pero la información existente es de una escala muy grande para trabajar en un territorio urbano y el factor fallas geológicas – sismo de diseño (13.33%), el cuál se obtiene de la Norma Ecuatoriana de la Construcción y no es del alcance o manejo de los municipios.

Tabla 3.3.7. Ponderación general y disponibilidad: vulnerabilidad.

Factor de vulnerabilidad	Importancia	Disponibilidad
Características de edificación - normativa de ocupación	45.00%	se puede realizar
Densidad poblacional	15.00%	si
Equipamiento de emergencia	15.00%	si
Infraestructura para servicios de agua	10.00%	si
Uso de suelo	15.00%	se puede realizar
Total	100.00%	

Fuente y elaboración: Propia.

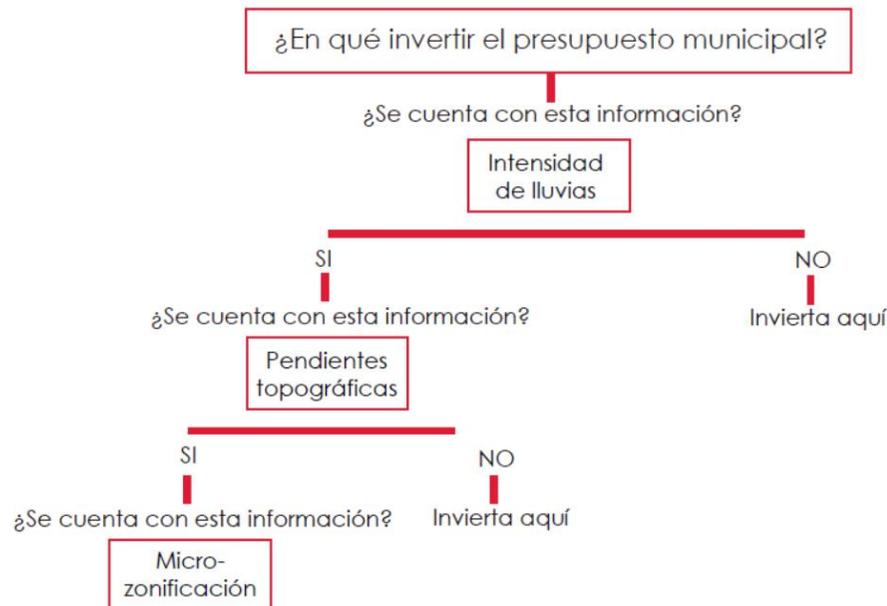
En cuanto a factores de vulnerabilidad, se observa que existen disponibles, o se puede realizar a partir de los sectores de planeamiento del Plan de Ordenamiento Urbano de la ciudad. Expuesto esto, se puede realizar un árbol de decisión en función de los presupuestos con los que cuenta cada Gobierno Autónomo Municipal, ya que los factores antes descritos no sólo sirven para este tipo de investigación, sino para varias indagaciones que se relacionen con la ciudad y los posibles efectos a los que está expuesta.

De acuerdo con las **Tablas 3.3.6** y **3.3.7**, podemos concluir que los factores más influyentes en porcentaje para la definición de zonas de riesgos son intensidades de lluvias con 30.00%, pendientes topográficas con 15.00%, microzonificación – efecto de sitio con 13.33%, por lo que en función de estos resultados se sugiere priorizar el presupuesto de los municipios. En primer lugar, se observa la intensidad de lluvias, el cual se ha analizado a nivel nacional pero la información a nivel de ciudades es pequeña,



imposibilitando un análisis exhaustivo. A continuación de ello está presente el factor pendientes, que por lo general sí se encuentran levantadas por los municipios, sin embargo, se debe buscar que las curvas con las que se cuenta sean cada dos metros (según Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017), para análisis a 1:25.000, sin embargo, para el estudio de ciudades se sugiere cada dos metros o menos. Por último, la microzonificación – efecto de sitio que no se ha observado que exista información desagregada en las ciudades, sino que más bien se ha construido a partir de otros estudios realizados en la ciudad.

Figura 3.3.2. Árbol de decisión: presupuesto municipal.



Fuente y elaboración: Propia.

3.3.4. Asignación de ponderación según factor

Una vez definida la construcción metodológica también se debe dar asignación de los factores según sus características para poder asignar valores de riesgo propiamente dicho en función de sus características en el territorio. Todos estos valores se definen a continuación:

Tabla 3.3.8. Ponderación: alturas de edificación.

Altura de edificación					
Nº máximo de pisos	0	2	5	9	>9
Valor	1	2	3	4	5

Fuente y elaboración: Propia.

Tabla 3.3.9. Ponderación: cuerpos de agua.

Cuerpos de agua		
Presencia	No existente	Existente
Valor	1	4

Fuente y elaboración: Propia.

Tabla 3.3.10. Ponderación: densidad poblacional.

Densidad poblacional					
Nº habitantes por Ha	0-10	11-50	51-100	101-150	>150
Valor	1	2	3	4	5

Fuente y elaboración: Propia.



Tabla 3.3.11. Ponderación: equipamiento urbano vulnerable.

Equipamiento de emergencia	
Nº de equipamientos por km2	Valor
0 – 4 Equipamientos	1
4.1 – 8 Equipamientos	2
8.1 – 12 Equipamientos	3
12.1 – 16 Equipamientos	4
>16 Equipamientos	5

Fuente y elaboración: Propia.

Tabla 3.3.12. Ponderación: infraestructura para servicios de agua.

Infraestructura para servicios de agua		
Presencia	Existente	No existente
Valor	1	4

Fuente y elaboración: Propia.

Tabla 3.3.13. Ponderación: fallas geológicas – sismo de diseño.

Fallas geológicas – sismo de diseño						
Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor	1	2	3	4	5	6

Fuente y elaboración: Propia.

Tabla 3.3.14. Ponderación: intensidad de lluvias.

Intensidad de lluvias					
Milímetros por hora	0-20	20.1-30	30.1-40	40.1-50	>50
Valor	1	2	3	4	5

Fuente y elaboración: Propia.

Tabla 3.3.15. Ponderación: inventario fenómenos de remoción de masas.

Inventarios fenómenos de remoción de masas	
Tipo de fenómeno	Valor
No existente	1
Deslizamientos antiguos - relictos	2
Estabilidad precaria	3
Deslizamiento latente	4
Deslizamiento activo	5

Fuente y elaboración: Propia.

Tabla 3.3.16. Ponderación: microzonificación sísmica – efecto de sitio

Microzonificación sísmica – efecto de sitio		
Descripción	Definición	Valor
A) Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s	1
B) Perfil de roca rigidez media	1500 m/s $>V_s \geq 760$ m/s	2
C) Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante.	760 m/s $>V_s \geq$ 360 m/s	3
C) Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios.	$N \geq 50.0S_u \geq$ 100 kPa	3
D) Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante.	360 m/s $>V_s \geq$ 180 m/s	4
D) Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ 100 kPa $>$ $S_u \geq 50$ kPa	4



E) Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante.	$V_s < 180 \text{ m/s}$	5
E) Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$	5

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014)

Elaboración: Propia.

Tabla 3.3.17. Ponderación: peligro volcánico.

Peligro volcánico						
Posibilidad Según SGR	No existente	Baja	Menor	Media	Mayor	Alta
Valor	0	1	2	3	4	5

Fuente y elaboración: Propia.

Tabla 3.3.18. Ponderación: uso de suelo.

Uso de suelo	
Tipo de uso principal	Valor
Forestal	1
Agrícola y afines	1
Servicios profesionales	2
Comercio y otros	2
Vivienda	3
Equipamientos urbanos	4
Industria tipo A	4
Industria tipo B	5
Margen protección	5
Sectores especiales	5
Centro histórico	5

Fuente y elaboración: Propia.

Tabla 3.3.19 Ponderación: cobertura vegetal.

Cobertura vegetal	
Tipo de cobertura	Valor
Predomina bosque	1
Predomina vegetación media	2
Predomina vegetación baja	3
Predomina suelo construido/edificado	4

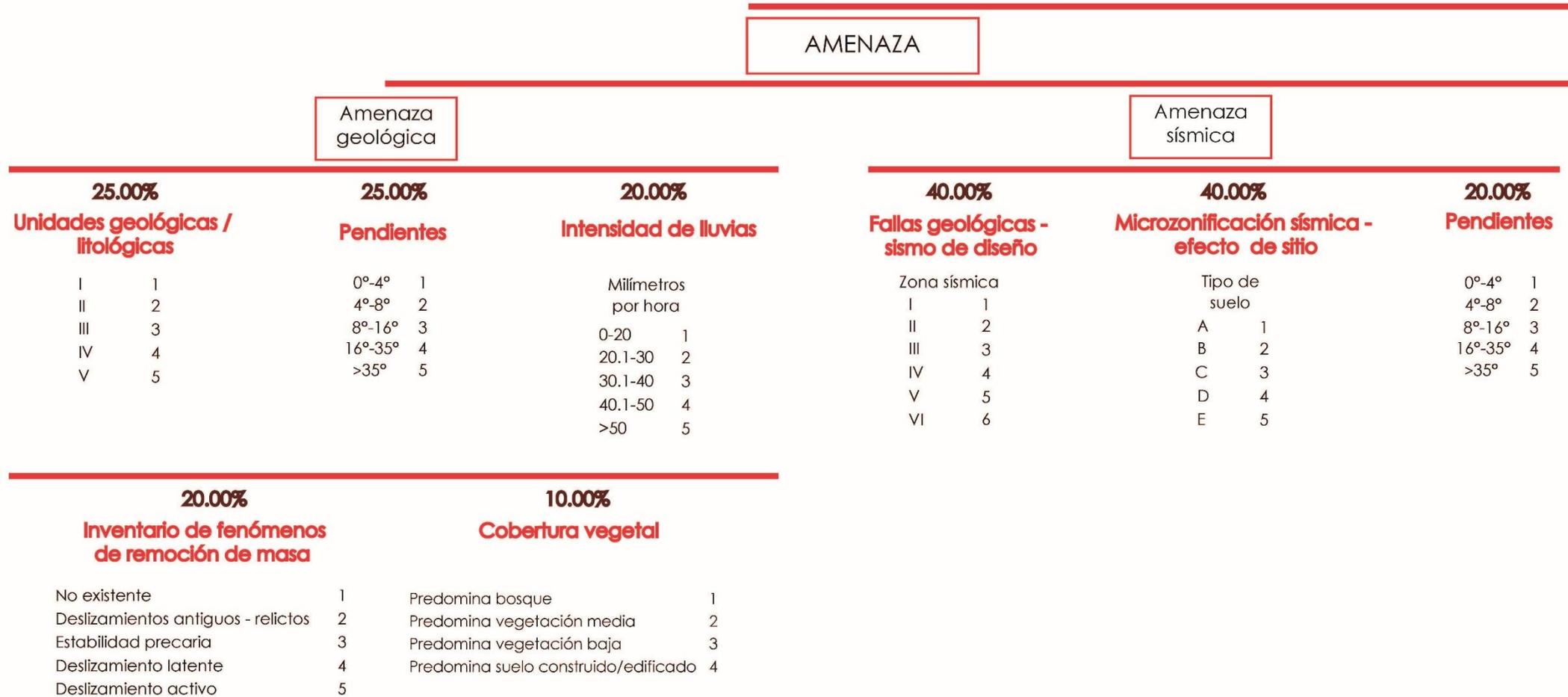
Fuente y elaboración: Propia.

Los factores unidades geológicas – litológicas y pendientes utilizan la misma ponderación descrita en el método Mora – Vahrson- en las **Tablas 2.3.1 y 2.3.4**, respectivamente.

Para una mejor comprensión de la metodología planteada y sus diferentes valoraciones y asignaciones de ponderación se muestra a continuación una síntesis de la misma.



Figura 3.3.3. Síntesis de metodología: variables y valores



Fuente y elaboración: Propia.



SUSCEPTIBILIDAD DE RIESGOS

VULNERABILIDAD

Amenaza hidrológica

70.00% Intensidad de lluvias		30.00% Cuerpos de agua	
Milímetros por hora		No existente	1
		Existente	4
0-20	1		
20.1-30	2		
30.1-40	3		
40.1-50	4		
>50	5		

Amenaza volcánica

100.00% Peligro volcánico	
No existente	0
Baja	1
Menor	2
Media	3
Mayor	4
Alta	5

45.00% Altura de edificación - características de edificación

Nº máximo de pisos	
0	1
2	2
5	3
9	4
>9	5

15.00% Uso de suelo

Forestal	1
Agrícola y afines	1
Servicios profesionales	2
Comercio y otros	2
Vivienda	3
Equipamientos urbanos	4
Industria tipo A	4
Industria tipo B	5
Margen protección	5
Sectores especiales	5
Centro histórico	5

15.00% Equipamiento de emergencia

0 – 4 Equipamientos	1
4.1 – 8 Equipamientos	2
8.1 – 12 Equipamientos	3
12.1 – 16 Equipamientos	4
>16 Equipamientos	5

15.00% Densidad poblacional

Habitantes por Ha	
0-10	1
11-50	2
51-100	3
101-150	4
>150	5

10.00% Infraestructura para servicios de agua

No existente	1
Existente	4



3.3.5. Formulación del método

Una vez definidas las ponderaciones y el método que seguir, se muestra el proceso matemático que orienta una vez realizadas las asignaciones de valor, según las características del territorio.

El grado de susceptibilidad de riesgos es el producto de los elementos de amenaza y de vulnerabilidad. (fórmula 1)

$$SR = A * V [1]$$

Donde:

S: grado de susceptibilidad de riesgos

A: valor producto de la combinación de los parámetros de amenazas

V: valor producto de la combinación de los parámetros de vulnerabilidad

Los parámetros de amenazas se componen de los siguientes parámetros (fórmula 2):

$$A = AG + AS + AH + AV [2]$$

Donde:

AG: valor producto de la combinación de los parámetros de amenazas geológicas.

AS: valor producto de la combinación de los parámetros de amenazas sísmicas.

AH: valor producto de la combinación de los parámetros de amenazas hidrológicas.

AV: valor producto de la combinación de los parámetros de amenazas volcánicas.

Los parámetros de amenazas geológicas se componen de los siguientes factores (fórmula 3):

$$AG = Pe1 * UL * IFRM * CV * IL1 [3]$$

Donde:

Pe1: (Pendientes) es el resultado del producto de la ponderación asignada dentro de amenazas geológicas por la asignación obtenida dentro de la ponderación, según la característica del territorio en pendientes.

UL: (Unidades litológicas) es el resultado del producto de la ponderación asignada dentro de amenazas geológicas por la asignación obtenida dentro de la ponderación, según la característica del territorio en unidades litológicas.

IFRM: (Inventario de fenómenos de remoción de masa) es el resultado del producto de la ponderación asignada dentro de amenazas geológicas por la asignación obtenida dentro de la ponderación, según la característica del territorio en Inventario de fenómenos de remoción de masa.



CV: (Cobertura vegetal) es el resultado del producto de la ponderación asignada dentro de amenazas geológicas por la asignación obtenida dentro de la ponderación, según la característica del territorio en cobertura vegetal.

IL1: (Intensidad de lluvias) es el resultado del producto de la ponderación asignada dentro de amenazas geológicas por la asignación obtenida dentro de la ponderación, según la característica del territorio en intensidad de lluvias.

Los parámetros de amenazas sísmicas se componen de los siguientes factores (fórmula 4):

$$AS = FS * Mz * Pe2 [4]$$

Donde:

FS: (Falla geológica – sismo de diseño) es el resultado del producto de la ponderación asignada dentro de amenazas sísmicas por la asignación obtenida dentro de la ponderación, según la característica del territorio en falla geológica – sismo de diseño.

Mz: (Microzonificación sísmica – efecto de sitio) es el resultado del producto de la ponderación asignada dentro de amenazas sísmicas por la asignación obtenida dentro de la ponderación, según la característica del territorio en falla geológica – efecto de sitio.

Pe2: (Pendientes) es el resultado del producto de la ponderación asignada dentro de amenazas sísmicas por la asignación obtenida dentro de la ponderación, según la característica del territorio en pendientes.

Los parámetros de amenazas hidrológicas se componen de los siguientes factores (fórmula 5):

$$AH = IL2 * CA * Pe3 [5]$$

Donde:

IL2: (Intensidad de lluvias) es el resultado del producto de la ponderación asignada dentro de amenazas hidrológicas por la asignación obtenida dentro de la ponderación, según la característica del territorio en intensidad de lluvias.

CA: (Cuerpos de agua) es el resultado del producto de la ponderación asignada dentro de amenazas hidrológicas por la asignación obtenida dentro de la ponderación, según la característica del territorio en cuerpos de agua.

Pe3: (Pendientes) es el resultado del producto de la ponderación asignada dentro de amenazas hidrológicas por la asignación obtenida dentro de la ponderación, según la característica del territorio en pendientes.

Los parámetros de amenazas volcánicas se componen de los siguientes factores (fórmula 6):



$$AV = PV [6]$$

Donde:

PV: (Peligro volcánico) es el resultado del producto de la ponderación asignada dentro de amenazas volcánicas por la asignación obtenida dentro de la ponderación según la característica del territorio en peligro volcánico.

Los parámetros de vulnerabilidades se componen de los siguientes parámetros (fórmula 7):

$$V = HE * DP * EE * IA * US [7]$$

Donde:

HE: (Altura de edificaciones) es el resultado del producto de la ponderación asignada dentro de vulnerabilidades por la asignación obtenida dentro de la ponderación, según la característica del territorio en altura de edificaciones.

DP: (Densidad poblacional) es el resultado del producto de la ponderación asignada dentro de vulnerabilidades por la asignación obtenida dentro de la ponderación, según la característica del territorio en densidad poblacional.

EE: (Equipamiento de emergencia) es el resultado del producto de la ponderación asignada dentro de vulnerabilidades por la asignación obtenida dentro de la ponderación, según la característica del territorio en equipamiento de emergencia.

IA: (Infraestructura para servicios de agua) es el resultado del producto de la ponderación asignada dentro de vulnerabilidades por la asignación obtenida dentro de la ponderación, según la característica del territorio en infraestructura para servicios de agua.

US: (Uso de suelo) es el resultado del producto de la ponderación asignada dentro de vulnerabilidades por la asignación obtenida dentro de la ponderación según la característica del territorio en uso de suelo.

Una vez realizada esta asignación de valores a cada sección del territorio se puede construir mapas temáticos y uno general de la susceptibilidad de riesgos del territorio donde se ha aplicado el estudio. Se recomienda usar el método del semáforo para reflejar los diferentes niveles de amenaza, vulnerabilidad o riesgo, donde el verde oscuro represente el menor nivel, verde claro un nivel bajo de susceptibilidad, el color amarillo un nivel medio, el color naranja un nivel alto de susceptibilidad y el color rojo, el mayor nivel y donde se deberá prestar mayor atención.



3.4. Metodología aplicada a la planificación urbana

Hasta el momento se ha analizado a la ciudad únicamente desde el punto de vista del medio físico, sin embargo, un aporte en relación con las metodologías antes examinadas es la incorporación de la consideración y posterior zonificación de vulnerabilidades, pues esta es una característica que se evidencia de mejor manera dentro de la ciudad, ya que están altamente relacionados con la presencia de personas y actuaciones antrópicas.

La incorporación de un mapa temático de vulnerabilidades aclara visualmente al técnico y/o lector las zonas de las ciudades donde se debe mantener especial cuidado. Sería ideal dentro de la investigación realizar un encuentro de cada uno de los factores de vulnerabilidad con las zonas de amenaza, no obstante se deja

planteado como línea de investigación a honrar en un futuro, ya que implicaría una ampliación significativa al estudio realizado en este documento.

Por otro lado, no se ha dicho que no existe vulnerabilidad en un análisis a nivel del territorio, sino que más bien al realizar un diagnóstico de vulnerabilidades dentro de la ciudad es pertinente para la toma de decisiones en cuanto a normativa para el uso y ocupación del suelo, para planes y proyectos a incorporar a futuro, para desarrollar una resiliencia más eficiente en las ciudades afectadas, y otros varios aportes.

Esta metodología no busca ser únicamente ejecutada en la etapa de diagnóstico, sino que se incorpore como una verdadera herramienta en todas las etapas de desarrollo del plan de ordenamiento urbano. Por ello se han esbozado lineamientos básicos a seguir en las diferentes etapas del plan, desde su etapa preliminar hasta el monitoreo, seguimiento y evaluación.



Tabla 3.4.1. Aplicabilidad de resultados en diferentes etapas del plan.

APLICABILIDAD DE RESULTADOS EN DIFERENTES ETAPAS DEL PLAN						
Etapa	ETAPA PRELIMINAR	ETAPA DE DIAGNÓSTICO	ETAPA DE PRONÓSTICO - MODELO OBJETIVO	FORMULACIÓN DEL PLAN	APROBACIÓN E IMPLEMENTACIÓN	MONITOREO, EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO
Descripción	Compuesta por a) la identificación de la demanda social y política; b) la formalización del proceso de POU; c) la evaluación de disponibilidad de recursos financieros y generación de alianzas estratégicas para el desarrollo del POU; y d) la elaboración, priorización y viabilización de Proyecto de Inversión Pública de POU	Esta etapa consiste en el análisis y procesamiento de la información de, por ejemplo, una Zonificación Ecológica Económica, y de estudios complementarios para formular el Plan de Ordenamiento Territorial (POU). A continuación se realiza el modelo actual del territorio el análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA)	Consiste en la proyección de la situación actual a una situación futura, teniendo en cuenta las tendencias de las variables relacionadas con el desarrollo local (social, económico y ambiental) y la evolución del uso y la ocupación del suelo. Después, a partir del análisis de escenarios, y con la participación de los actores sociales, se decide la visión de desarrollo urbano deseado o el "modelo urbano objetivo"	Se formula el "modelo urbano objetivo (deseado)", los objetivos estratégicos y específicos, así como el conjunto de acciones y proyectos organizados en los planes de usos y ocupación del territorio. En la formulación del POU se deben contemplar de manera continua dos principios básicos: transversalidad e integralidad.	Comprende (a) la aprobación del POU a cargo de la entidad pública relevante (por ejemplo Consejo Municipal); (b) la institucionalización del POU, a través de, por ejemplo, establecimiento de concejos municipales, contratación de responsables del proceso de POU dentro del área de planificación de la entidad pública responsable, o la creación de una Unidad de POU; y (c) la ejecución del POU, que suele tener una duración de 10 años	Comprende el seguimiento y control del POU. El proceso de cumplimiento de los elementos establecidos en el POU puede estar fortalecido por otras instancias surgidas desde la sociedad civil, como comités de seguimiento u otras, comité de vigilancia, consejos consultivos y otros actores sociales e institucionales en el municipio.
Relación con metodología	En primer lugar, se verifica la viabilidad de la ejecución del plan en el área de estudio, posterior a ello, se deberá realizar un análisis general de los riesgos en la ciudad, es decir, la información existente, el conocimiento de la ciudadanía en relación a ello, disposiciones existentes por parte del Estado dentro del territorio de análisis, entre otros.	Esta es la etapa más importante en relación a la metodología planteada, se deberá realizar el diagnóstico de disponibilidad e información, y aquí es donde se debe llevar a cabo la metodología para evaluar y zonificar zonas de riesgo del territorio urbano, considerando factores actuales, hechos pasados y la información obtenida en la etapa preliminar.	En base a información ya obtenida, se puede predecir y prever los posibles resultados en relación a la zonificación de zonas de riesgo. Por lo que se debe visualizar las zonas más susceptibles de riesgo y definir las actuaciones en respecto de ello para mitigar daños en años posteriores. Los mapas temáticos ayudan a visualizar tanto zonas de mayor amenaza (en sus diferentes aspectos) como vulnerabilidad.	Cada uno de los mapas temáticos resultantes permiten a los responsables de la planificación tomar decisiones acertadas en relación a zonas con altos índices de amenaza y vulnerabilidad, permitiendo plantear normativa que considere limitantes para el uso y ocupación de estas zonas, delimitar como áreas de explotación del medio físico y para crear proyectos para las personas y bienes inmuebles que ya se encuentren emplazados dentro de las zonas antes descritas.	Sabiendo que se contó con información que permitió tomar decisiones sólidas en relación a los riesgos, amenazas, vulnerabilidades y resiliencia de los habitantes de la ciudad, se esperan mejores resultados en caso de suscitarse fenómenos naturales, cumpliendo con los objetivos planteados de solucionar una problemática en relación a la incorporación de los riesgos dentro de la planificación no sólo para ciudades intermedias, sino crear conciencia por medio del ejemplo.	Por parte de cada uno de los Municipios que decidan incorporar esta metodología dentro de sus planes de ordenamiento urbano, y para el cumplimiento de todas las normas instauradas mediante ordenanza se espera el fiel cumplimiento para alcanzar los resultados deseados.

Fuente y elaboración: Propia, a partir de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017.



Capítulo IV

Aplicación de la metodología para generar mapas temáticos de zonas de riesgo

M. Belén Vega Medina
Autora







Capítulo IV: Aplicación de la metodología para generar mapas temáticos de zonas de riesgo

Una vez estructurada la metodología, razón de la investigación, se debe aplicar la misma en una ciudad intermedia que cumpla con las características planteadas en el objetivo del estudio, estar ubicada en la Sierra del Ecuador. Este capítulo refleja cómo se debe aplicar la metodología mencionada y muestra los resultados que se obtuvieron.

En primer lugar, se define la ciudad, sobre la cual se desarrollará este capítulo, siendo la ciudad de Cuenca la escogida. En el primer subcapítulo se mostrarán las características y se describirán los factores previos a la definición de riesgos, además de un acercamiento a la ciudad y sus particularidades propias, también se muestra en mejor detalle cómo se deberá manejar la información, las escalas necesarias y los lineamientos para la

construcción de la información previa a realizar los mapas temáticos. A continuación de ello, se muestra el geoprocesamiento a seguir y como se obtienen los resultados paso a paso, además de los diagramas lógicos y físicos del geoproceso, de tal modo que pueda ser replicada en otras ciudades y cualquier profesional pueda llevarla a cabo con facilidad y agilidad.

Finalmente, se muestran los diferentes mapas temáticos, consecuencia de los geoprocesos, obteniendo resultados gráficos, donde se puede interpretar según los colores, transmitiendo información probada, verificada y de fácil entendimiento para cualquier profesional, aunque no maneje al detalle la materia. Estos mapas temáticos prometen facilitar la toma de decisiones para los gobiernos autónomos descentralizados municipales en cuanto a uso y ocupación de suelo, una planificación coordinada con la zonificación de riesgos, donde se pueda invertir de mejor manera los presupuestos asignados y aseguren resiliencia en caso de desastre.





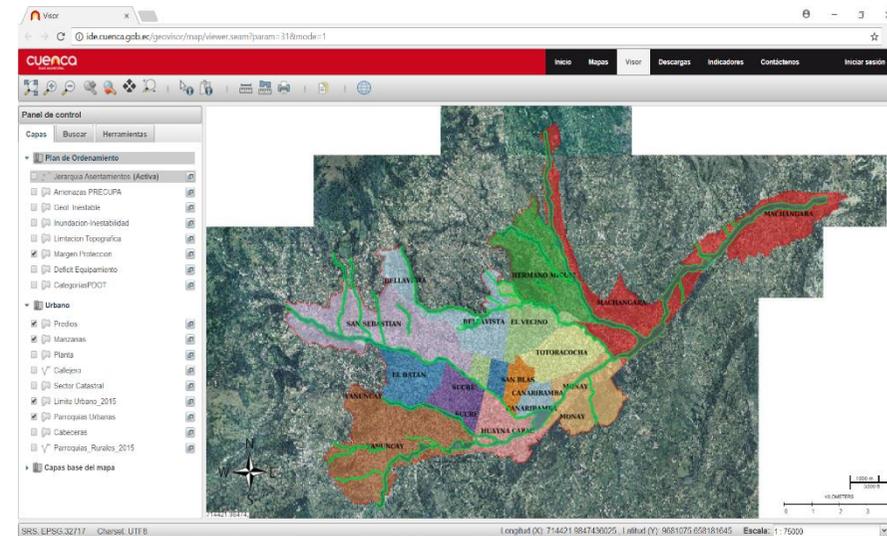
“La capital de Azuay, Santa Ana de los Cuatro Ríos de Cuenca, o simplemente "Cuenca", está ubicada entre la latitud: 2° 53' 57" sur y longitud 79° 00' 55" oeste [...]. Se encuentra localizada geográficamente en la parte sur del Ecuador, en un valle de la cordillera de los Andes. Está aproximadamente a nueve horas al sur de Quito (capital) y cuatro horas al este de Guayaquil (principal puerto)” (Foros Ecuador, 2018) .

Figura 4.1.1. Visor online Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cuenca.

4.1 Definición del área urbana a aplicar la metodología.

Para aplicar la metodología propuesta en la presente investigación se ha buscado una ciudad que cuente con las características descritas en Figura 1.1.3 como ciudad intermedia de la Sierra, entre estas ciudades se especificaron: Ibarra, Santo Domingo, Latacunga, Ambato, Riobamba, Cuenca, Loja. Por su importancia a nivel nacional, existencia de patrimonio edificado, presencia de ríos que la atraviesan, entre otros, se ha escogido la ciudad de Cuenca en la provincia del Azuay como objeto de estudio para aplicar la metodología planeada.

“La ciudad de Cuenca se encuentra a 2.538 m.s.n.m y [...] presenta un clima con temperaturas que oscilan entre los 14 °C y los 18 °C, durante todo el año. El valle en el que se sitúa está determinado por sistemas montañosos de excepcionales características y presenta un sistema hidrográfico conformado por cuatro ríos principales: Tomebamba, Yanuncay, Machángara y Tarqui que atraviesan la ciudad de oeste a este” (Alcaldía de Cuenca , 2018)



Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cuenca, 2018.

Con el fin de entender el territorio sobre el cual se aplicó la metodología se realizó una recopilación y explicación de todos los factores que intervienen para establecer la metodología propuesta.



4.1.1. Amenazas

4.1.1.1. Cobertura vegetal

En el Código Orgánico del Ambiente, con Registro Oficial Suplemento 983 de 12 abril del 2017, y entrará en vigencia una vez transcurridos doce meses desde su publicación en el Registro oficial, en el Capítulo II, Manejo Responsable del arbolado urbano, Art. 156.- Del Censo del arbolado urbano, describe:

“Dentro del cálculo y medición del área verde urbana, los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos podrán incorporar un registro del número de árboles, tanto por habitante como por unidades territoriales. Para el mismo objetivo, podrán llevar un censo periódico y georreferenciado de la tipología de árboles existentes, de sus características dasométricas, del número de individuos y de la cantidad de especies nativas e introducidas presentes.” (Congreso Nacional, 2017).

Donde no se exige el inventario de la flora urbana, más bien el Estado central ofrece incentivos a aquellos Gobiernos Municipales que lo realicen, más si se exige dentro del código, “promover el desarrollo urbano sostenible, se reconoce como de interés público el establecimiento, conservación, manejo e incremento de árboles en las zonas urbanas, priorizando los árboles nativos en las zonas territoriales respectivas.” (Congreso Nacional, 2017), además de incluir estas actividades dentro de su planificación territorial, debiendo exigirse adicionalmente incluirla dentro de su planificación urbana.

Si bien no hay registro de Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales que hayan realizado este inventario o censo de arbolado urbano, ya aparece dentro de los intereses del Estado Nacional, buscando una incorporación para asegurar de manera efectiva la conservación e incremento del arbolado urbano.

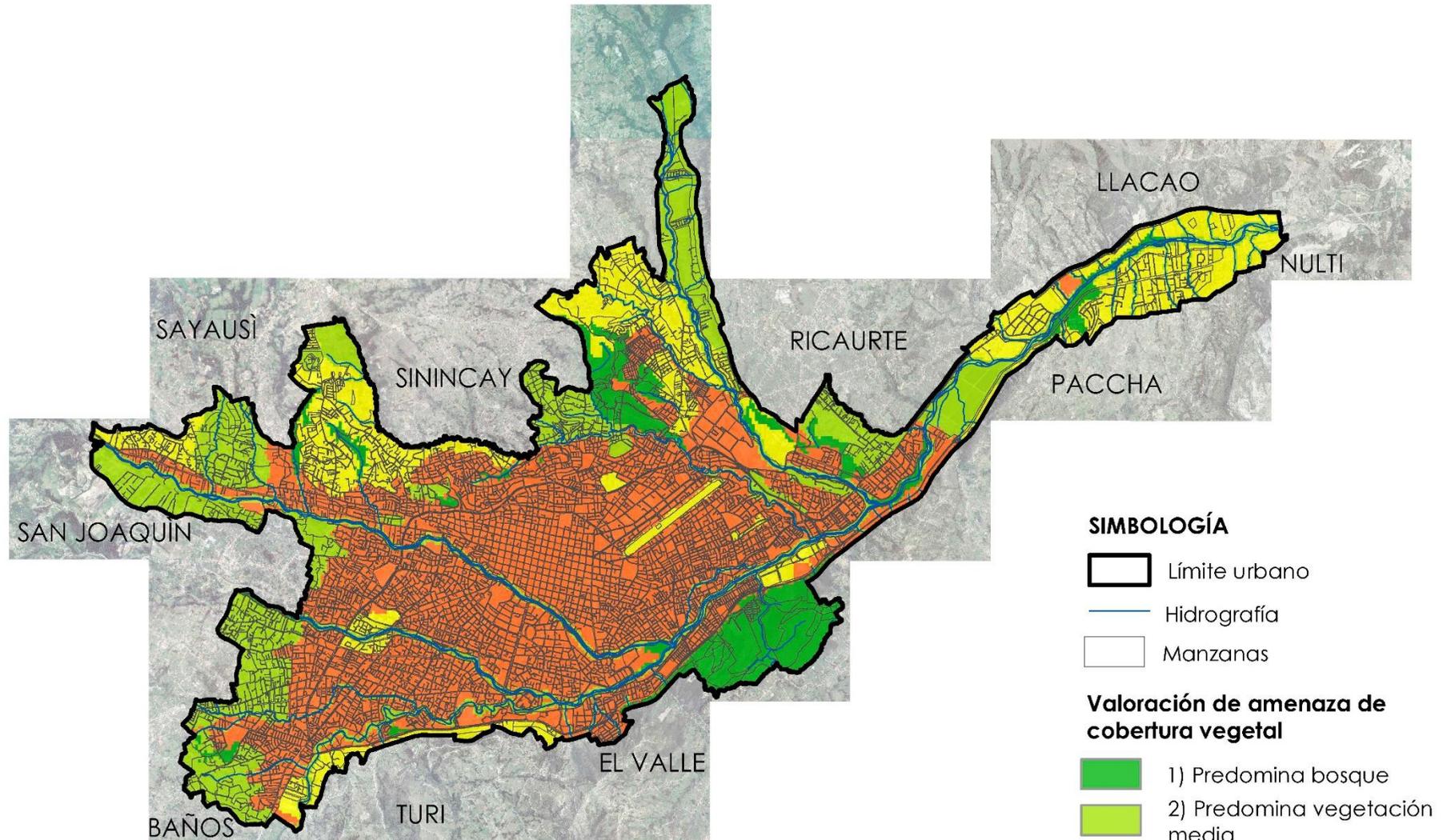
Con el tiempo, y la puesta en vigencia de esta ley se espera contar con la información necesaria para colaborar con este estudio, sin embargo, al no contar con esta información en el momento de realizado este documento, se ha solventado esta falencia buscando otras opciones.

En primer lugar, se necesita una fotografía aérea del área de estudio, idealmente se deberá realizar un estudio detalle para ubicación de cada uno de las especies y ubicación dentro del área urbana, sin embargo, ya que no se cuenta con esta información se ha realizado zonificación de la ciudad según criterios de preponderancia de vegetación.

Reconociendo que la superficie de la ciudad no es homogénea en cuanto a presencia de flora urbana, a partir de la fotografía aérea (2015) a escala 1:5 000, se distinguen las áreas de bosque, por su importancia dentro del estudio, en segundo lugar, se zonifican las laderas de ríos entendiendo que son grandes franjas con presencia de vegetación, para finalmente zonificar el territorio remanente según su predominancia de vegetación, sin poder alcanzar el detalle ideal. Finalmente se presenta el territorio como grandes áreas donde se evidencia la presencia en su mayoría de suelo predominantemente construido/edificado.



Figura 4.1.2. Mapa de factor: cobertura vegetal. Cuenca.



Fuente y elaboración: Propia a partir de Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca, 2018.

0 0,5 1 2 3 4
Kilómetros



4.1.1.2. Cuerpos de agua

De acuerdo con el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, Capítulo VIII, Régimen Patrimonial, Artículo 417, Bienes de uso público: numeral d) "Las quebradas con sus taludes y franjas de protección; los esteros y los ríos con sus lechos y sus zonas de remanso y protección" (COOTAD, 2010), entonces, las franjas de protección de los ríos y quebradas y sus características de ocupación son competencia y están sujetos disposición de los Gobiernos Municipales siempre y cuando cumplan con la ley nacional.

Adicional a lo antes descrito, en la Ley de Recursos Hídricos, con registro Oficial 339 el 20 de Mayo del 2004, Art. 13, describe:

"Para el aprovechamiento de los recursos hidrológicos, corresponde al Consejo Nacional de Recursos Hídricos: a) Planificar su mejor utilización y desarrollo; b) Realizar evaluaciones e inventarios; c) Delimitar las zonas de protección; d) Declarar estados de emergencia y arbitrar medidas necesarias para proteger las aguas; y, e) Propender a la protección y desarrollo de las cuencas hidrográficas." (Congreso Nacional, 2004).

Donde asegura el correcto manejo de inventarios, delimitación de zonas de protección y sobre todo asegura la planificación de los cuerpos de agua, entendiéndose como cuerpos de agua "Las aguas de ríos, lagos, lagunas, manantiales que nacen y mueren en una misma heredad, nevados, caídas naturales y otras fuentes, y las subterráneas" (Congreso Nacional, 2004).

Cada Municipio ha delimitado sus zonas de protección según diferentes criterios, ejemplificando, para el caso de la ciudad de Loja se han definido: para ríos, quebradas y lagunas, se ha destinado franjas de protección de treinta, quince y quince metros a cada lado, respectivamente, medidas desde el superior del talud de la actual orilla. Por otro lado, el Gobierno Municipal del Cantón Puerto Quito considera como margen de protección las siguientes consideraciones: treinta metros para ríos, quince metros para esteros, diez metros para quebradas, cincuenta metros para vertientes y 10 metros para lagunas y lagos,

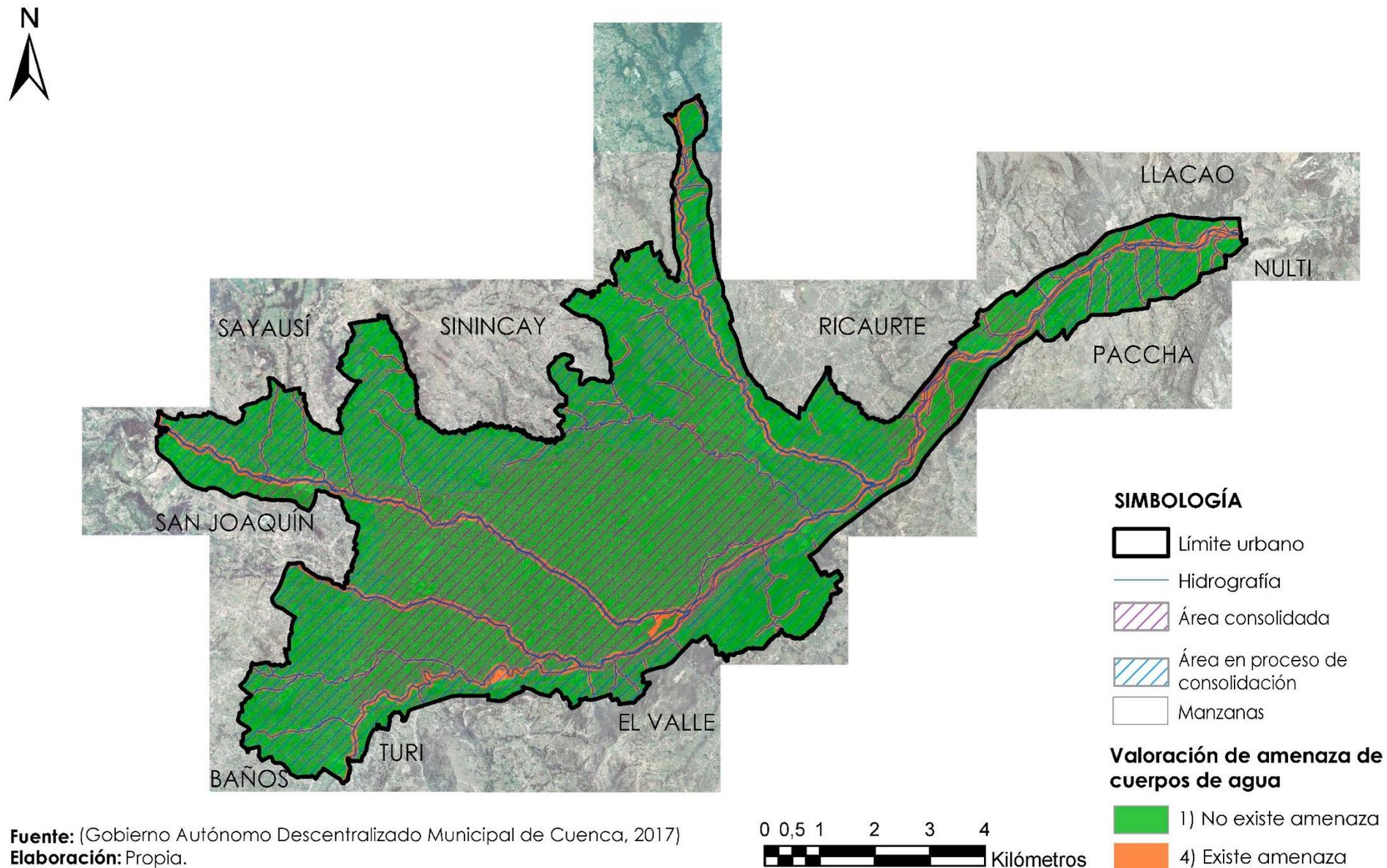
"Este margen será aplicado en las dos riberas de los ríos, esteros, quebradas del área Cantonal, tomando como base las riberas y línea de máxima creciente en las partes planas, y en el caso de quebradas serán contados desde el borde superior de los mismos" (Gobierno Municipal Puerto Quito, 2011).

En caso de Cuenca, la ciudad está bañada por cuatro ríos principales, Tomebamba, Yanuncay, Tarqui y Machángara, además de pequeñas quebradas que desembocan en los ríos antes descritos. Para el shape a utilizar se ha realizado la recopilación de la hidrografía disponible en formato .shp a escala 1:10 000, y se ha realizado un buffer según la jerarquía que esta fuente hidrográfica tenga, usando 50 metros hacia cada lado en el caso de ríos y 25 metros en el caso de quebradas.

Existen diferentes criterios según la ciudad, por lo que para nuestros fines se debe utilizar la información antes descrita en cada caso, y sólo si no se dispusiera con un shape resultado del estudio de áreas de inundación.



Figura 4.1.3. Mapa de factor: cuerpos de agua. Cuenca.





4.1.1.3. Fallas geológicas – sismo de diseño

En cuanto a sismo de diseño, el cual está estrechamente relacionado con las fallas geológicas activas en el país, se hace referencia a la Figura 3.2.1, extraído de la Norma Ecuatoriana de Construcción, donde se encuentra que, todo el territorio de Cuenca se encuentra en la zona sísmica II, cuyo factor Z es 0.25, por lo que en el área urbana completa se ha aplicado el mismo factor.

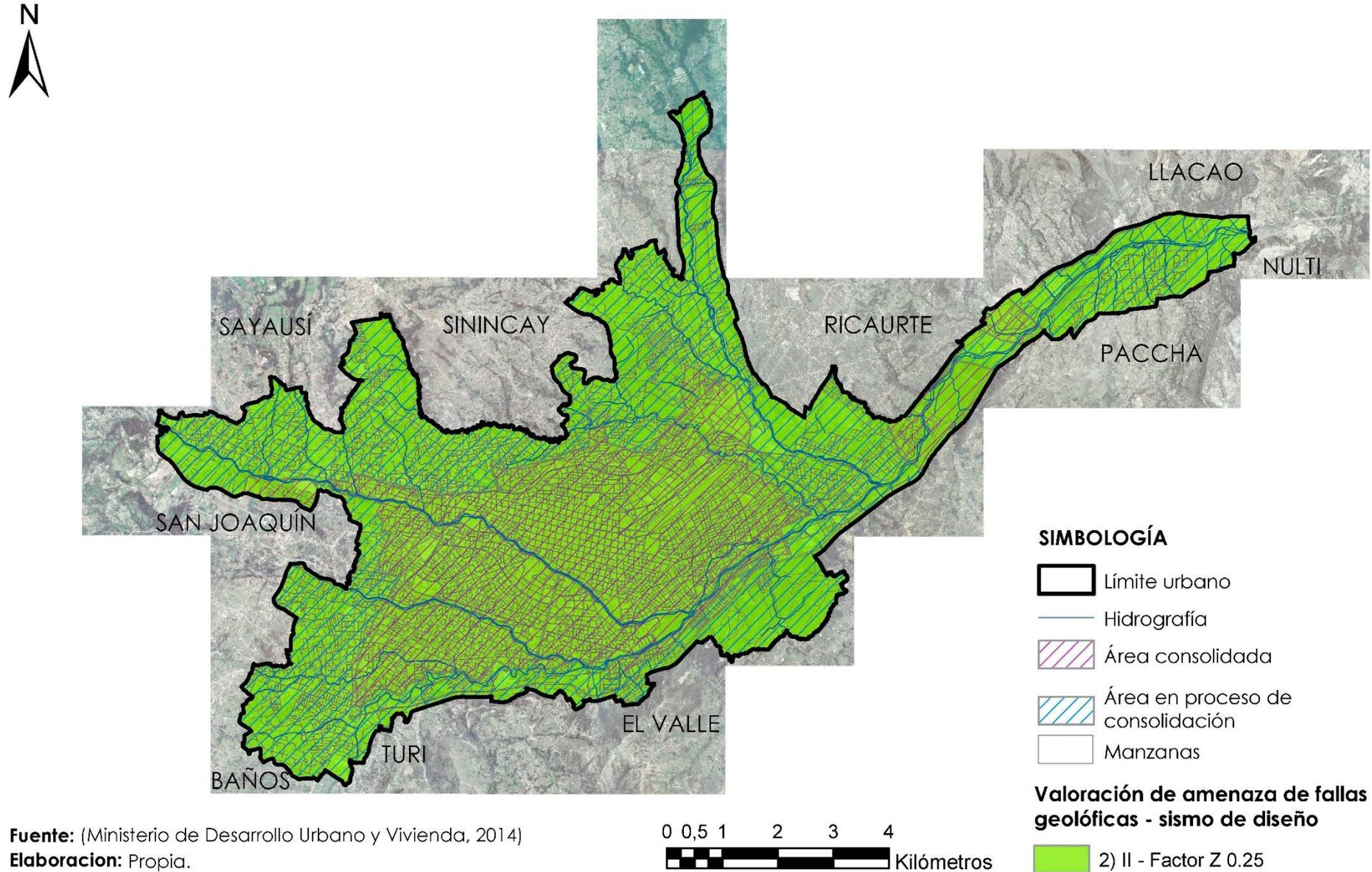
En este factor se hace evidente la falta de información ajustada a una escala necesaria para uso e intervención en ciudades, pues en el mapa general del Ecuador, se las representa como un punto, sin embargo, las características del territorio en la ciudad, aunque la escala sea menor tiene sus propias tipologías, y no se la debería enfrascar con una sola medida.

Si bien la Norma Ecuatoriana de Construcción busca definir un factor de seguridad, y que el mismo debe tener la consideración de guardar una seguridad con tendencia superior, los estudios utilizados para realizar estas determinaciones no constan con las escalas adecuadas a detalle, por lo cual, consecuencia de ello tenemos un mapa con información demasiado generalizada e incompleta, debiendo ajustar por lo menos a una escala 1:25 000 o idealmente 1:10 000 para obtener mejores resultados. Si bien la escala mencionada aún es menor a la que se debe utilizar para intervención en ciudades, es un inicio para entender el territorio como un fenómeno lleno de peculiaridades y sesgos diferentes, no como grandes áreas de territorio con información general, poco contrastada e incompleta.

Este estudio busca dejar claras las falencias e inexactitudes por parte del manejo de información georreferenciada del gobierno nacional y los gobiernos autónomos descentralizados municipales con el único fin de mejorar y tomar en cuenta las consideraciones aquí expuestas para futuros estudios en relación con los riesgos, amenazas y vulnerabilidades en ciudades, no sólo de la Sierra, sino de todo el territorio nacional.



Figura 4.1.4. Mapa de factor: fallas geológicas - sismo de diseño. Cuenca.





4.1.1.4. Intensidad de lluvias

En el mapa de intensidades de lluvia de Cuenca, se busca ubicar los valores de mayor intensidad de lluvia, donde existió un pico en la medición de lluvias periódicas en la ciudad, sin embargo, se debe considerar que según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) se recomienda una serie mínima de 30 años para una mayor confiabilidad en la determinación de modelos de ecuación, pero las estaciones ubicadas para este estudio tienen un tiempo menor, se consideraron únicamente las que disponían de tiempo mayor a 8 años, y se especifica que es una actualización al "Estudio de lluvias intensas", elaborado por el Ing. Luis Rodríguez Fiallos, publicado en 1999 pero no especifica el tiempo de cada una de las estaciones.

Para el caso de Cuenca se ha recogido información de dos estaciones, ubicadas por el Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional del Ecuador y la Dirección General de Aviación Civil del Ecuador, siendo las mismas ubicadas en la parroquia Ricaurte y Aeropuerto Mariscal Lamar en Cuenca, debiendo utilizarse los valores con periodo de retorno cinco años, y 60 minutos para los fines de nuestro estudio, por lo que los registros de una mayor intensidad de lluvia han sido 28.9 y 36.3 milímetros por hora, respectivamente. Se debe agregar que la ciudad de Cuenca es de los pocos casos que cuenta con más de una estación meteorológica, evidenciando una vez más la falta de información a detalle necesaria y las limitaciones que existen para estudios de esta naturaleza.

A continuación, se muestran, los registros obtenidos en cada una de las estaciones.

Tabla 4.1.1. Resultados estación M0426 Cuenca Ricaurte.

T (min)	Periodo de Retorno T (años)					
	2	5	10	25	50	100
5	95.8	113.8	129.7	154.1	175.5	200.0
10	69.8	82.9	94.4	112.2	127.8	145.6
15	57.9	68.8	78.4	93.2	106.2	120.9
20	50.8	60.3	68.8	81.7	93.1	106.0
30	42.3	49.6	55.9	65.5	73.8	83.2
60	24.7	28.9	32.6	38.2	43.1	48.5
120	15.4	17.9	20.0	23.3	26.1	29.3
360	5.7	6.6	7.4	8.6	9.7	10.8
1440	1.6	1.9	2.1	2.5	2.8	3.1

INTENSIDAD MAXIMA (mm/h)

Fuente y elaboración: Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional del Ecuador, 2014.

Tabla 4.1.2. Resultados estación M0067 Cuenca Aeropuerto.

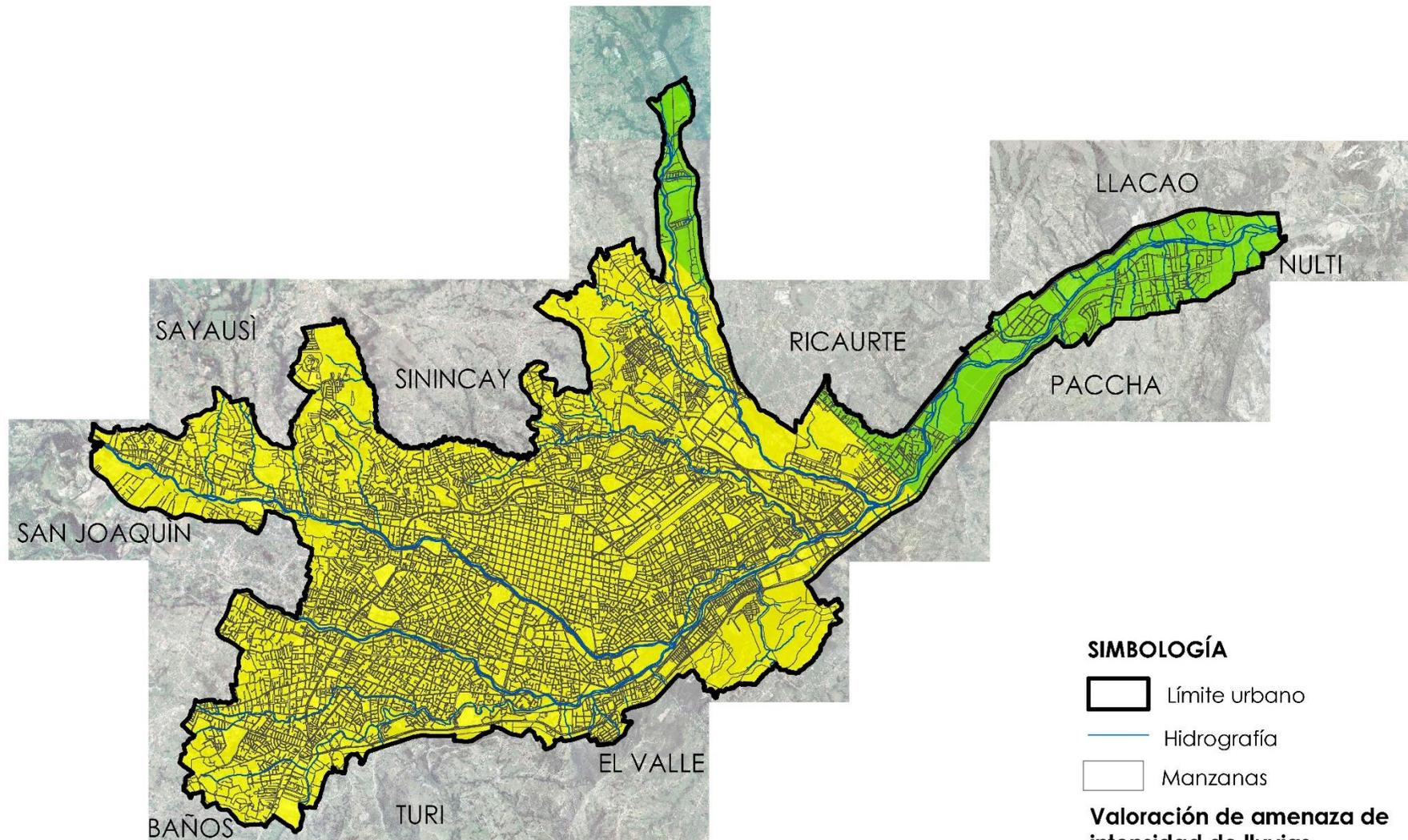
T (min)	Periodo de Retorno T (años)					
	2	5	10	25	50	100
5	103.9	123.0	139.8	165.5	188.1	213.7
10	73.8	87.4	99.3	117.6	133.7	151.9
15	60.5	71.6	81.4	96.3	109.5	124.4
20	52.5	62.1	70.6	83.6	95.0	108.0
30	43.0	50.9	57.8	68.5	77.8	88.4
60	30.8	36.3	41.0	48.2	54.5	61.6
120	16.6	19.5	22.1	26.0	29.4	33.2
360	6.2	7.3	8.3	9.7	11.0	12.5
1440	1.8	2.1	2.4	2.8	3.2	3.6

INTENSIDAD MAXIMA (mm/h)

Fuente y elaboración: Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional del Ecuador, 2014.



Figura 4.1.5. Mapa de factor: intensidad de lluvias. Cuenca.



Fuente: (Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional del Ecuador, 2014)

Elaboración: Propia.





4.1.1.5. Inventario de fenómenos de remoción de masas

En la ciudad de Cuenca, se ha realizado un primer estudio de tipo geológico sobre los riesgos de deslizamientos y características del suelo de la ciudad, hidrología, entre otros factores, denominado proyecto PRECUPA para Prevención de desastres naturales en la cuenca del Paute, que es un buen punto de partida para la evaluación del suelo en la ciudad, sin embargo, este proyecto fue realizado a escala 1:25 000, siendo aún muy poco detallado para la utilización dentro de la ciudad, ya que idealmente este debería ser 1:10 000 o 1:5 000, dependiendo de la disponibilidad de información.

El uso de esta información como punto de partida fue bien recibida, sin embargo, estos datos para una mejor definición se han complementado con información levantada de manera privada para sus estudios de detalle por la compañía Raster Cía, Ltda, quienes prestaron su ayuda y geoinformación considerando los fines educativos que representa este estudio. Por lo antes descrito, los mapas informativos aquí reflejados son el resultado de la validación de la información oficial y una mejor definición del detalle y escala de la información ya existente.

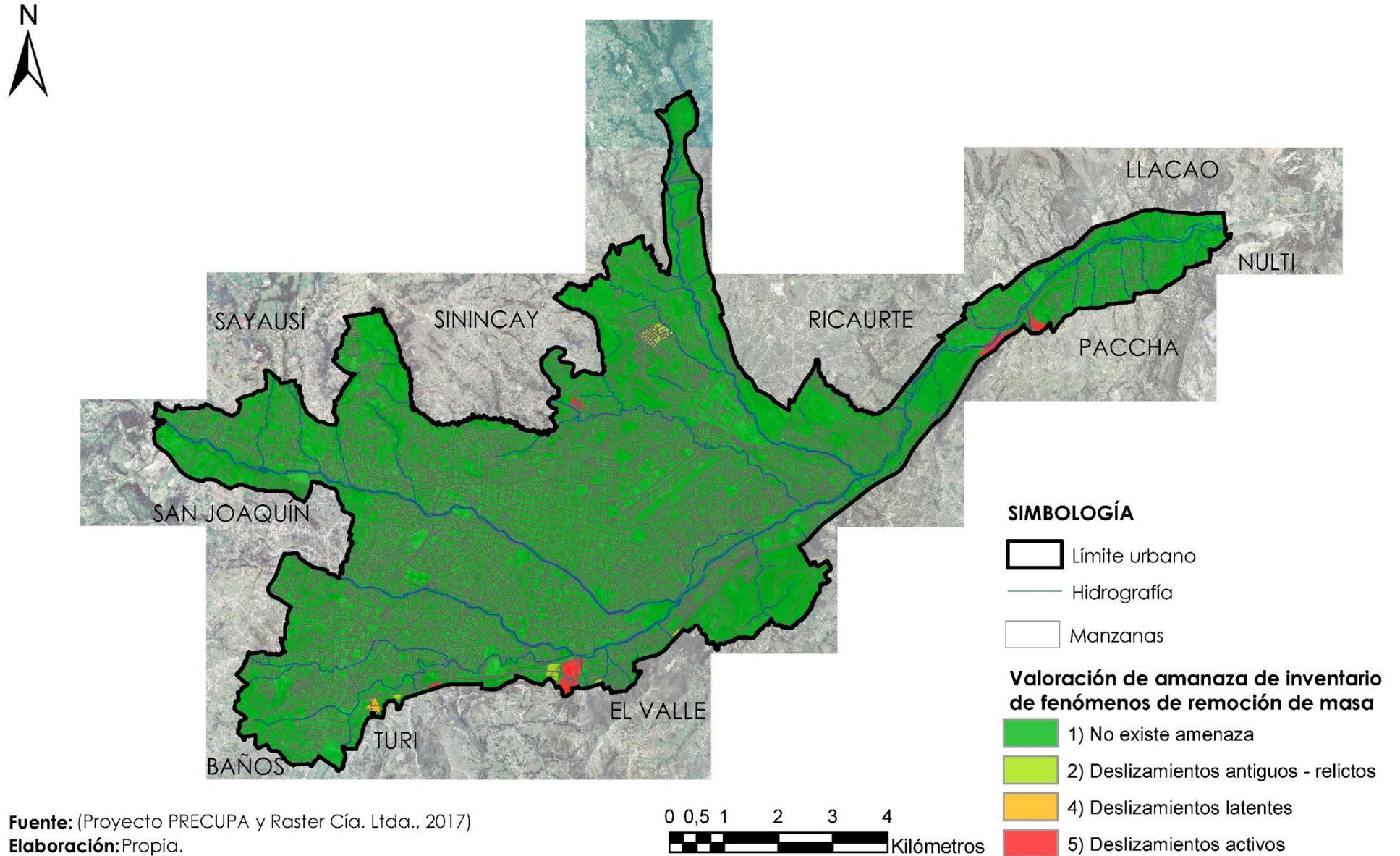
En cuanto a los resultados obtenidos, afortunadamente dentro de la zona urbana de la ciudad de Cuenca, existen muy pocos fenómenos de remoción de masas que han afectado al suelo urbano cubren menos del 5% del área y todas se encuentran en la zona en proceso de consolidación y de expansión de la ciudad, en su mayoría afectan a superficies con densidad poblacional baja en áreas periféricas. Se asignó la ponderación

de valores siguiendo estrictamente la metodología antes expuesta.

Se debe reiterar que para la obtención de este factor se debió pedir ayuda externa a fuentes de información oficial para poder realizar la aplicación de la metodología. En el caso de Cuenca, la información oficial se encuentra a escala 1:25 000, sin embargo, para la aplicación en cada una de las ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador, se deberá valorar la asignación del presupuesto Municipal para realizar los estudios de detalle necesarios, acotando, se puede realizar un primer acercamiento partiendo de ortofotografías.



Figura 4.1.6. Mapa de factor: inventario de fenómenos de remoción de masas. Cuenca.



Fuente: (Proyecto PRECUPA y Raster Cía. Ltda., 2017)
Elaboración: Propia.



4.1.1.6. Microzonificación sísmica – efecto de sitio

Al igual que en el caso anterior, el proyecto PRECUPA ya contaba con información preliminar sobre la microzonificación sísmica y efecto de sitio, sin embargo, esta información también se encontraba a escala 1:25 000, y asimismo la compañía Raster Cía, Ltda, ayudó y colaboró de manera desinteresada con el fin de obtener una mejor escala y por lo tanto mejores resultados para el presente estudio.

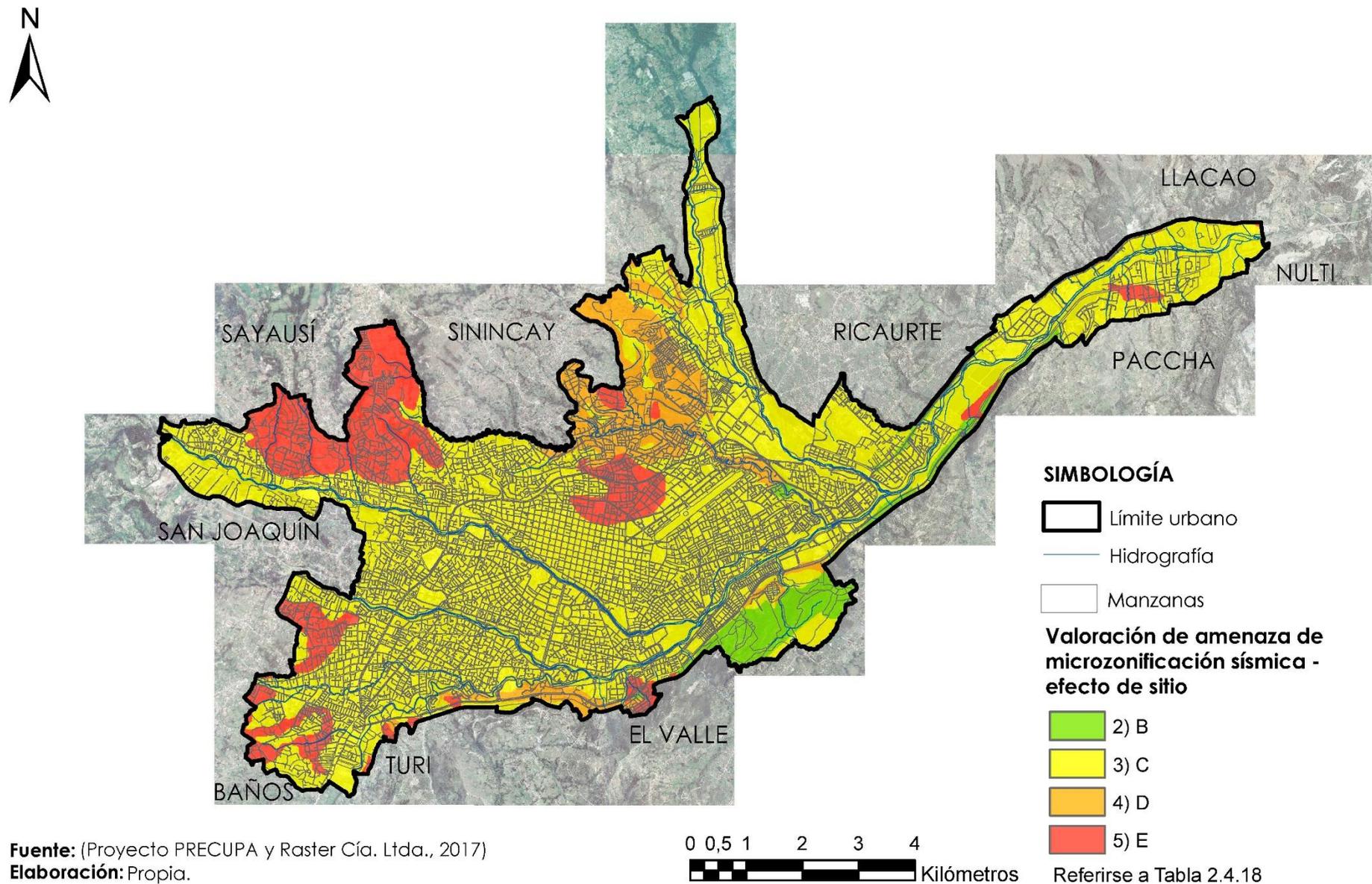
Para la asignación de valores se ha recurrido a la ayuda del Ing. Luis Antonio Matute por sus conocimientos en geología y geotecnia, con el fin de evitar cometer errores, puesto que la naturaleza de este estudio requiere conocimientos a detalle de la materia.

La valoración se lo definió a partir de la clasificación de la Norma Ecuatoriana de Construcción, mostrada en este estudio en la **Tabla 3.3.16** donde, se reflejan las características tanto físicas y químicas como mecánicas. Según esta tabla, en encuentro con las características del área urbana de la ciudad, se evidencia que predomina la superficie de suelo de tipo C, es decir, perfiles de suelo muy densos o roca blanda, en el Sureste de la ciudad existe suelo de tipo B, con características de perfil de roca con rigidez media, al norte del territorio existe suelo del tipo D, con características de perfiles de suelo rígidos, y finalmente la presencia de suelo tipo E en el Suroeste, Oeste, Noroeste, parte del centro y en las riberas del río Machángara, con características deficientes mecánicas y/o presencia de arcillas blandas.

Al igual que el caso anterior, se debe reiterar que para la obtención de este factor se debió pedir ayuda externa a fuentes de información oficial para poder realizar la aplicación de la metodología y obtener los resultados propuestos. En el caso de Cuenca, la información oficial se encuentra a escala 1:25 000, sin embargo, para la aplicación en cada una de las ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador, se deberá valorar la asignación del presupuesto Municipal para realizar los estudios de detalle necesarios y llegar a una escala óptima de 1:10 000.



Figura 4.1.7. Mapa de factor: microzonificación sísmica - efecto de sitio. Cuenca.



Fuente: (Proyecto PRECUPA y Raster Cía. Ltda., 2017)
Elaboración: Propia.

0 0,5 1 2 3 4
Kilómetros



4.1.1.7. Pendientes - topografía

Afortunadamente la topografía es algo con lo cual la mayoría de los Gobiernos Municipales cuentan, la escala ideal es 1:10 000 como mínimo, donde las curvas de nivel se muestren cada 1.50 o 2.00 metros, sin embargo, se reconoce que la información no siempre tiene esta escala. En el caso de Cuenca, se realizó a partir de una red de triángulos irregulares (Triangular Irregular Network TIN), que es “una forma de datos geográficos digitales basados en vectores y se construyen mediante la triangulación de un conjunto de vértices” (ESRI, 2018).

Esta red de triángulos irregulares se utiliza con regularidad dentro de un SIG, fue facilitada por miembros del Municipio, se encuentra a escala 1:10 000 y nos permite obtener curvas de nivel según la necesidad requerida. A partir de esta información se pudo construir un mapa de pendientes, clasificando siguiendo las instrucciones en la metodología de Mora – Vahrson, valorando según rangos indicados en la **Tabla 2.3.4**, tal como se muestra en el mapa en la **Figura 4.1.8**. Si bien por lo general se acostumbra a utilizar la pendiente en función de porcentaje, en este caso, con el fin complementar con información sobre metodologías ya existentes se ha priorizado el uso de grados.

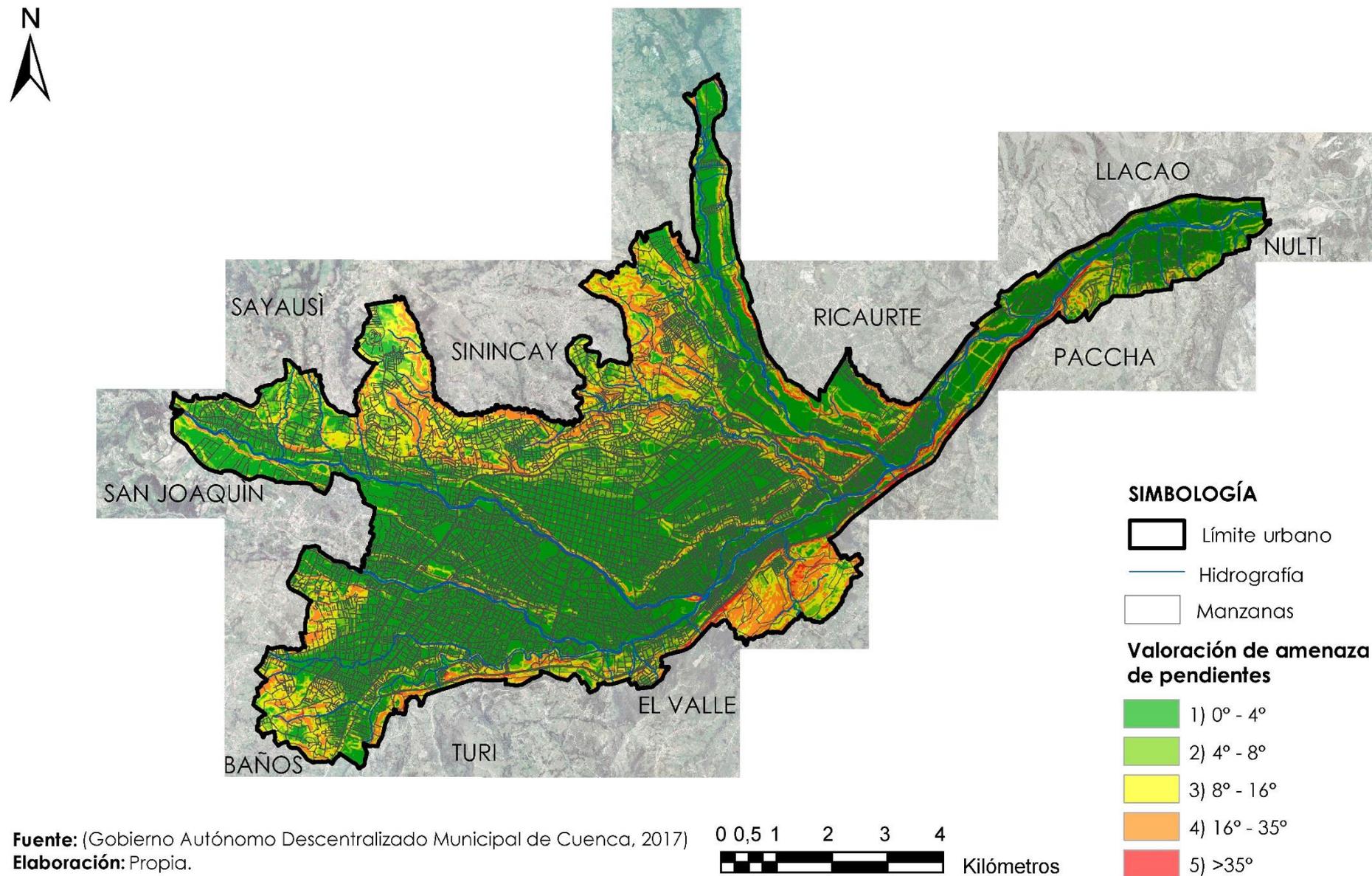
Cuando se emplazó la ciudad de Cuenca fue bien escogido el territorio con relación a las pendientes, puesto que, en el centro y zona mayormente poblada las pendientes son bajas, permitiendo la expansión de la ciudad, exceptuando la zona del Barranco, ubicado entre el centro de la ciudad y el medio ejido. Se observa en las zonas de expansión del Norte de la ciudad una alta

presencia de pendientes mayores a 16° de pendiente, en donde, lamentablemente por falta de conocimiento, recursos y otros factores incidentes, se evidencian asentamientos de edificaciones individuales y grupos de ellos, donde claramente corren riesgo.

Este factor es de común manejo de los Gobiernos Municipales por lo que se estima que no existirá problema para su utilización y aplicación, las pendientes son imprescindibles puesto que tienen inferencia tanto para el mapa temático de amenaza sísmica como amenaza geológica, por lo que debe propender tener al mayor detalle posible para la aplicación de la metodología descrita en el presente documento.



Figura 4.1.8. Mapa de factor: pendientes. Cuenca.



Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca, 2017)
Elaboración: Propia.



4.1.1.8. Unidades litológicas

Al igual que en el de microzonificación sísmica – efecto de sitio e inventarios de fenómenos de remoción de masas, el proyecto PRECUPA ya contaba con información preliminar sobre las unidades litológicas del área urbana de la ciudad, sin embargo, esta información se encuentra a escala 1:25 000, y asimismo la compañía Raster Cía, Ltda, ayudó y colaboró de manera desinteresada con el fin de obtener una mejor escala y por lo tanto mejores resultados para el presente estudio. Para la asignación de valores se ha seguido el mismo procedimiento descrito para la construcción del mapa de microzonificación sísmica – efecto de sitio.

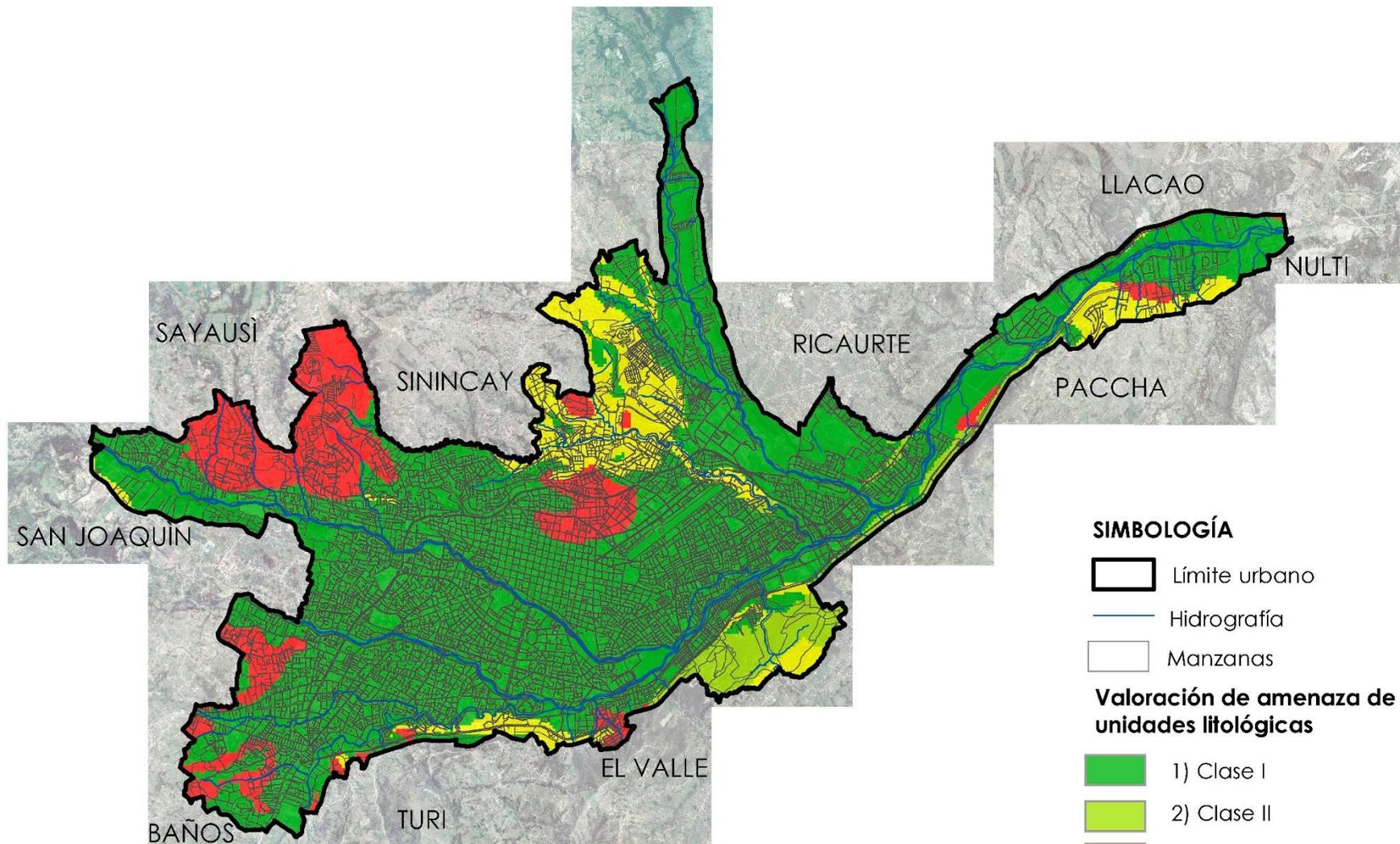
La valoración se lo definió a partir de la clasificación según susceptibilidad litológica en la metodología de Mora – Vahrson, mostrada en este estudio en la **Tabla 2.3.1** donde, se reflejan las características físicas, mecánicas y químicas del suelo. Según estaba tabla, en encuentro con las características del área urbana de la ciudad, se evidencia que predomina la superficie de suelo clase I, es decir, es un suelo con excelentes características mecánicas, materiales sanos con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevado, fisuras sanas y sin relleno; en el Sureste de la ciudad existe suelo de clase II, con características físico-mecánicas con resistencia al corte medio a elevada; al Norte del territorio existe suelo clase III, con características menos satisfactorios, pueden ser rocas sedimentarias, intrusivas, ingnimbritas, rocas metamórficas medianamente alteradas, y finalmente la presencia de suelo

clase V en el Suroeste, Oeste, Noroeste, parte del centro y en las riberas del río Machángara, con características deficientes mecánicas, pudiendo ser materiales aluviales, coluviales de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los casos 3 y 4 con los niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos altos.

Al igual que el caso anterior, se debe reiterar que para la obtención de este factor se debió pedir ayuda externa a fuentes de información oficial para poder realizar la aplicación de la metodología y obtener los resultados propuestos. En el caso de Cuenca, la información oficial se encuentra a escala 1:25 000, sin embargo, para la aplicación en cada una de las ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador, se deberá valorar la asignación del presupuesto Municipal para realizar los estudios de detalle necesarios, recomendando según este estudio al menos 1:10 000 para aplicación dentro del límite urbano.



Figura 4.1.9. Mapa de factor: unidades litológicas. Cuenca.



SIMBOLOGÍA

Límite urbano

Hidrografía

Manzanas

Valoración de amenaza de unidades litológicas

1) Clase I

2) Clase II

3) Clase III

5) Clase V

Referirse a Tabla 2.3.1

Fuente: (Proyecto PRECUPA y Raster Cía. Ltda., 2017)
Elaboración: Propia.





4.1.2. Vulnerabilidades

4.1.2.1. Altura de edificación - características de edificación

Como se explicó en el subcapítulo 2.4, la relación entre altura de edificación y características de edificación, van de la mano. Las características como: estado de conservación de la edificación, material de edificación, coeficientes de uso y ocupación de suelo, densidades de vivienda, entre otros, muestran homogeneidad de características en relación con la altura de la edificación, el proceso de crecimiento de la ciudad y el estado de consolidación. En vista de que analizar el conjunto de las características de edificación, depende según los criterios utilizados por los diferentes municipios al momento de asignar los atributos en el shape de determinantes de uso y ocupación del suelo, se ha decidido utilizar el número de pisos permitido en altura de edificación, únicamente porque este refleja características homogéneas de los sectores de planeamiento y para agilizar los geoprocesos, ya que requiere menor tiempo la clasificación de un atributo cualitativo que un atributo cuantitativo, haciendo énfasis en que las condicionantes de cada ciudad son diferentes y se deberá realizar una valoración previa a utilizar los resultados de este factor.

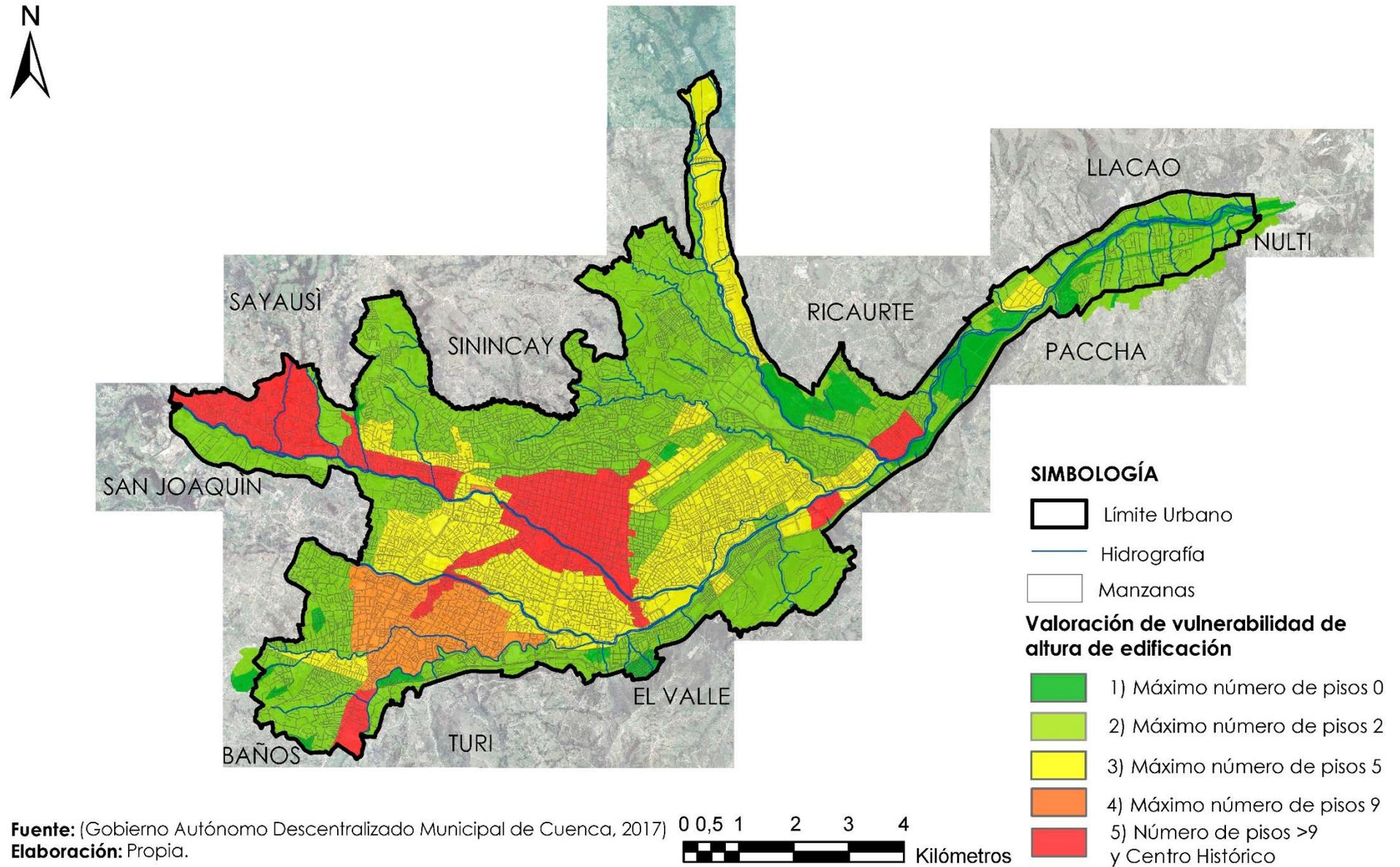
Para la generación del mapa de vulnerabilidad según altura de edificación – características de edificación, se recibió información por parte del Gobierno Municipal de Cuenca, ya que es de carácter obligatorio para todos los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales contar con información

completa, depurada y actualizada sobre las determinantes de uso y ocupación del suelo.

A partir del shape que se encuentra dividido en sectores de planeamiento se procedió a clasificar el suelo según la altura de sus edificaciones permitidas en las determinantes de uso y ocupación del suelo. En la ciudad de Cuenca se observó principalmente grandes zonas como el centro histórico, donde no se permiten construir edificaciones nuevas, por lo que, la altura permitida es 0, sin embargo, se analiza paralelamente las características de este sector, que evidentemente representan el valor más alto de vulnerabilidad. Además de lo descrito, se observa sectores como la Av. Ordoñez Lasso y zona Sur donde resaltan por el número de pisos autorizados para la construcción.



Figura 4.1.10. Mapa de factor: altura de edificación - características de edificación, Cuenca.





4.1.2.2. Densidad poblacional

En el caso de la densidad de población, esta información se ha obtenido del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), que clasifica el territorio según sectores censales, donde fracciona el territorio para poder facilitar el levantamiento de información. En cualquier ciudad del mundo es difícil obtener una cifra real si se habla de densidad de población, sin embargo, por lo general se trabaja con datos de censos realizados en varios años y se realiza un acercamiento a la población actual en base a variables y conjeturas elaboradas por demógrafos expertos en el tema.

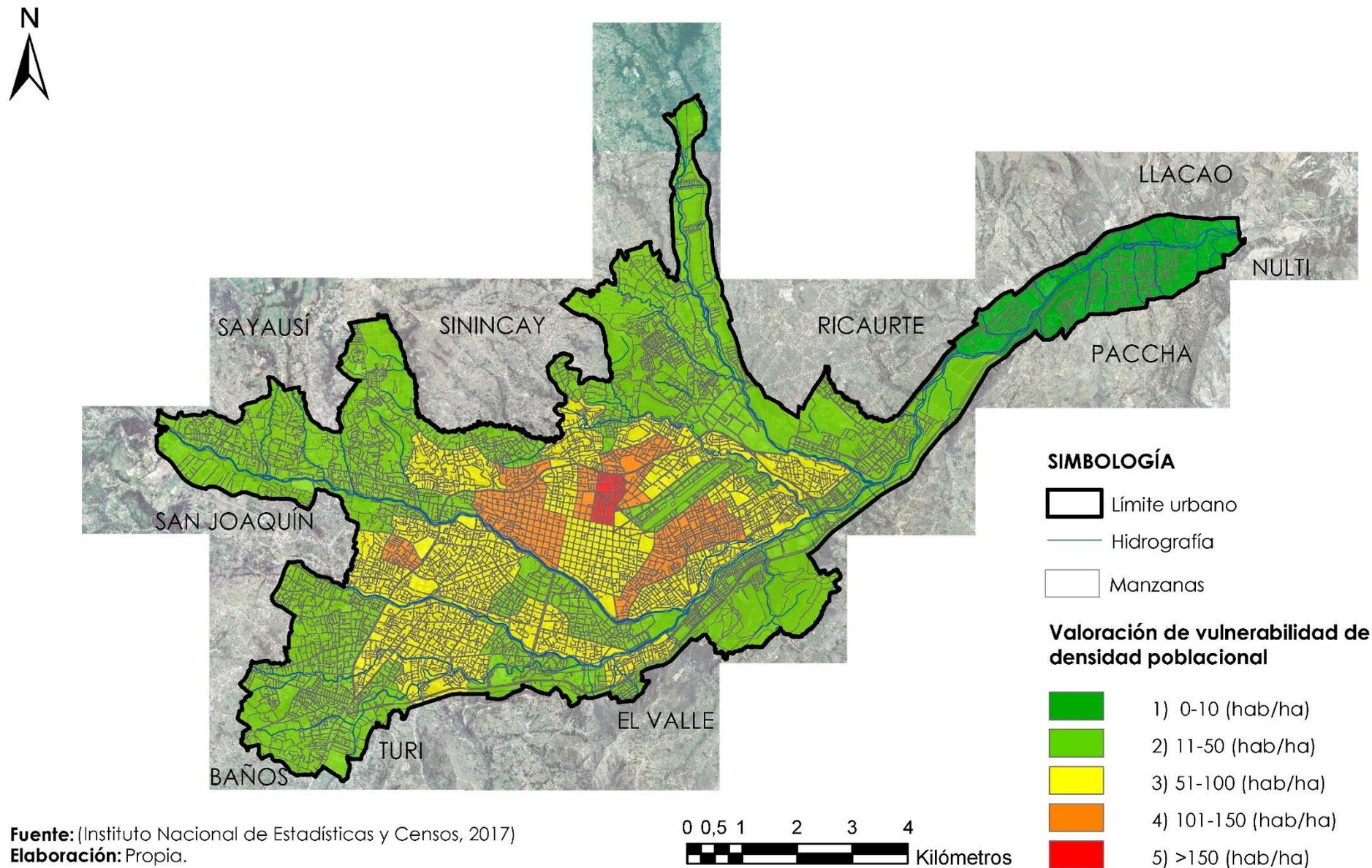
En el caso de la información mostrada, se ha obtenido directamente del INEC, por lo que se da por sentado que es información actualizada y depurada por la institución antes de ser de manejo público. En la ciudad de Cuenca se muestra que, como generalmente sucede en territorio urbano, existe un pequeño sector central donde se muestra concentración, para de a poco ir disminuyendo hacia la periferia, donde la densidad de poblaciones en sectores colindantes con el límite urbano es baja. La menor densidad de población se evidencia en el sector de Challuabamba, donde en los últimos años se ha extendido la ocupación de suelo, pero manteniendo coeficientes de ocupación bajos. La mayoría del territorio rodea entre los 10 y 100 habitantes por hectárea, salvo sitios puntuales. En el caso de Cuenca, no existen marcados casos de alta ocupación de suelo por familias en estado de hacinamiento, sino más bien goza de

una densidad entre mediana y baja a lo largo del territorio urbano.

Ya que el INEC es una institución que recopila información a nivel nacional, en el caso de otros Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales se podrá obtener esta información de la misma institución, siendo verificada, comprobada y actualizada, a una escala que se ajusta según los sectores censales.



Figura 4.1.11. Mapa de factor: densidad poblacional. Cuenca.



Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2017)
Elaboración: Propia.



4.1.2.3. Infraestructura para servicios de agua

Ya que la intensidad de lluvia es un desencadenante en caso tanto de amenaza geológica como hidrológica, se debe considerar también como vulnerabilidad la infraestructura construida en la ciudad destinada al drenaje del exceso de aguas en la superficie, si bien el mejor drenaje es el drenaje natural y afortunadamente la ciudad de Cuenca cuenta con ríos con una baja intervención antrópica que ha permitido mantener los cauces naturales, se debe considerar también que es común tener territorio impermeable, urbanizado y edificado, por lo que es indispensable un buen sistema de desalojo de agua.

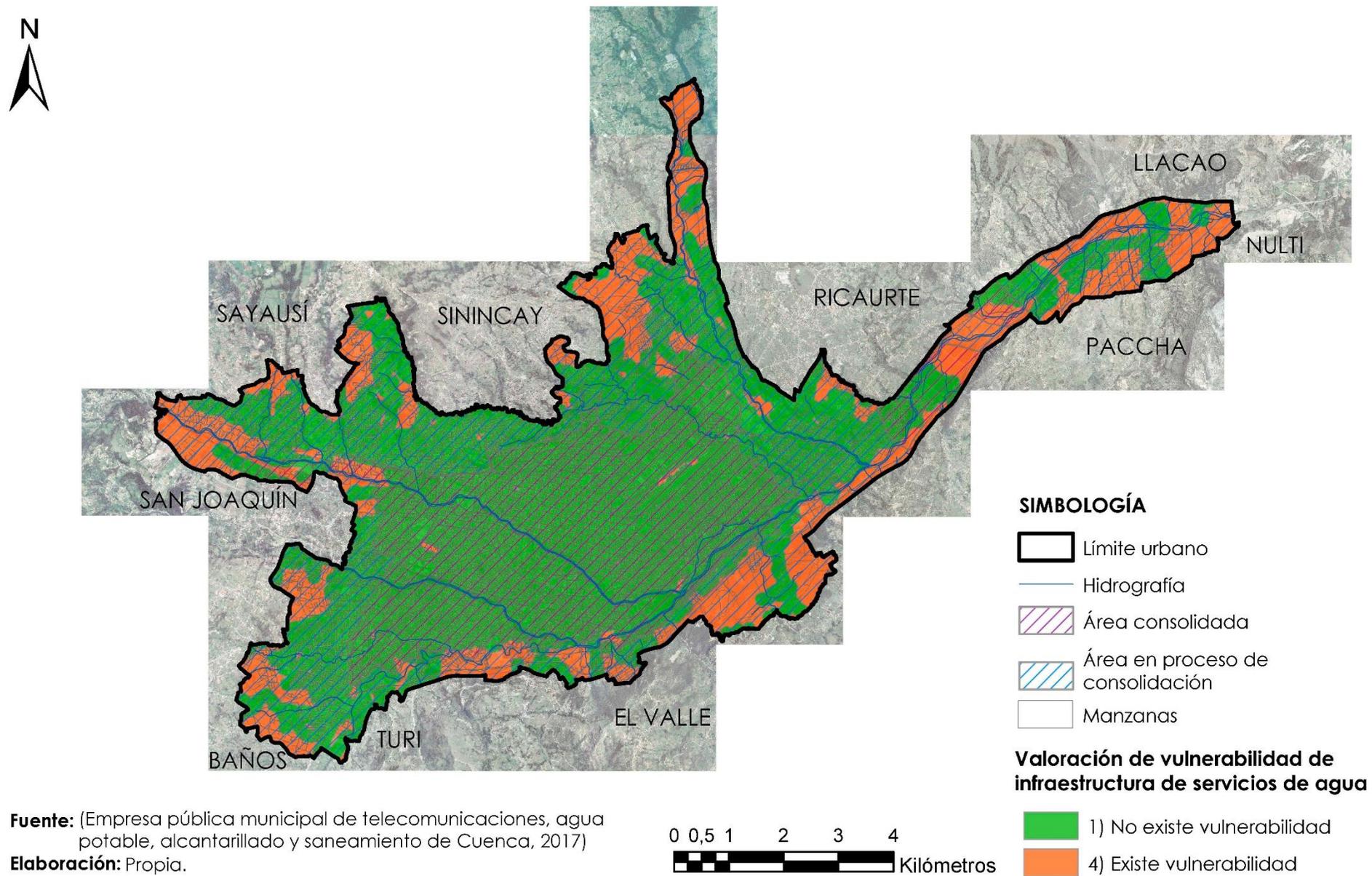
La cobertura de infraestructura de servicios de agua de Cuenca se ha realizado a partir de información entregada por la empresa rectora de la ciudad, que en este caso es la Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y saneamiento de Cuenca (ETAPA). Partiendo de las redes principales de alcantarillado en la ciudad a escala estimada 1:1000, se realizó un buffer para simular la cobertura probable del sistema, obteniendo las áreas del territorio donde existe una cobertura por parte de la empresa antes descrita.

En cada uno de los Gobiernos Municipales donde se pretenda aplicar la metodología se debe contar con la información respectiva de trazado georreferenciado de redes de alcantarillado y desalojo de aguas, las empresas públicas de cada uno de los Municipios tienen la obligación de inventariar y llevar un registro actualizado de su infraestructura, por lo cual la obtención de este factor no deberá ser un problema, tanto la

actualización como la escala a la que se deba obtener la información. Las empresas municipales que brindan servicios de esta naturaleza llevan el registro cada vez que se amplía la cobertura, y sus características como diámetros de tuberías, capacidad de abastecimiento, tipo de aguas que desalojan, antigüedad, entre otras, convirtiendo este factor en accesible para su aplicación.



Figura 4.1.12. Mapa de factor: infraestructura de servicios de agua. Cuenca.



Fuente: (Empresa pública municipal de telecomunicaciones, agua potable, alcantarillado y saneamiento de Cuenca, 2017)

Elaboración: Propia.

0 0,5 1 2 3 4
Kilómetros



4.1.2.4. Equipamiento de emergencia

Los equipamientos de emergencia por lo general tienen dos características importantes, albergan gran cantidad de personas o deben estar listos para brindar servicios en caso de un desastre. Siguiendo esas características se ha realizado un inventario de aquellos equipamientos que cumplan con lo descrito, adicionando los siguientes: equipamientos de salud, de educación, de seguridad, de administración, se incluye aquellos inmuebles que se encuentran catalogados como equipamientos de alcance urbano, además de ello cuarteles, catedrales por su capacidad de albergar personas -y estar inventariadas como bien patrimonial emblemático de la ciudad-, grandes centros comerciales, universidades y grandes centros deportivos.

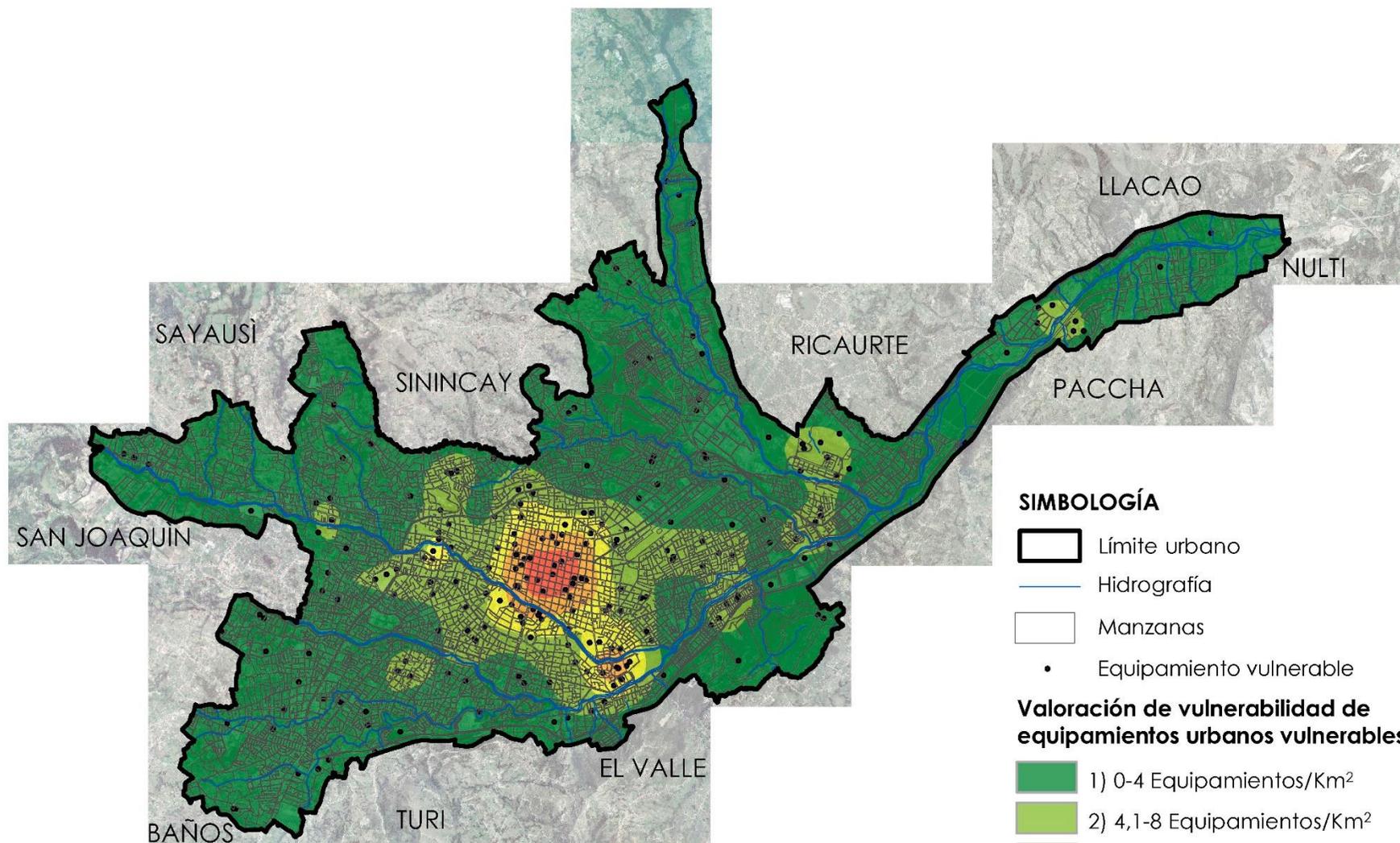
Habiendo creado el shape de puntos con los equipamientos antes descritos, se realiza un análisis de densidad de existencia de estos con la herramienta Kernel Density, obteniendo un raster que contiene lo buscado, reflejando la unidad de medida de equipamientos por kilómetro cuadrado. En el caso de Cuenca, la mayor cantidad de equipamientos de emergencia se encuentran en el centro histórico y existen unos cuantos dispersos en el área en proceso de consolidación.

En el caso de los Gobiernos Municipales donde se requiera aplicar la metodología, por lo general cuentan con la información de equipamientos en el territorio urbano, sin embargo, de ser el caso de no existir la información, se puede obtener del Ministerio de Educación, Ministerio del Interior y Ministerio de Salud lo más importantes, y los equipamientos de carácter urbano, en caso de

no constar inventariados por el Municipio del cantón se lo puede realizar por simple inspección, creando el raster a partir de encuestas y con ayuda de personas propios del territorio a intervenir. El shape de donde se obtiene la información se estima sea 1:10 000, y está compuesto por puntos. Hay que considerar que para la creación de este shape se deben identificar únicamente los equipamientos más importantes, puesto que exceso de información puede tergiversar los resultados.



Figura 4.1.13. Mapa de factor: equipamientos urbanos vulnerables. Cuenca.



SIMBOLOGÍA

-  Límite urbano
-  Hidrografía
-  Manzanas
-  Equipamiento vulnerable

Valoración de vulnerabilidad de equipamientos urbanos vulnerables

-  1) 0-4 Equipamientos/Km²
-  2) 4,1-8 Equipamientos/Km²
-  3) 8,1-12 Equipamientos/Km²
-  4) 12,1-16 Equipamientos/Km²
-  5) >16 Equipamientos/Km²

Fuente y elaboración: Propia a partir de Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca, 2017.





4.1.2.5. Uso de suelo

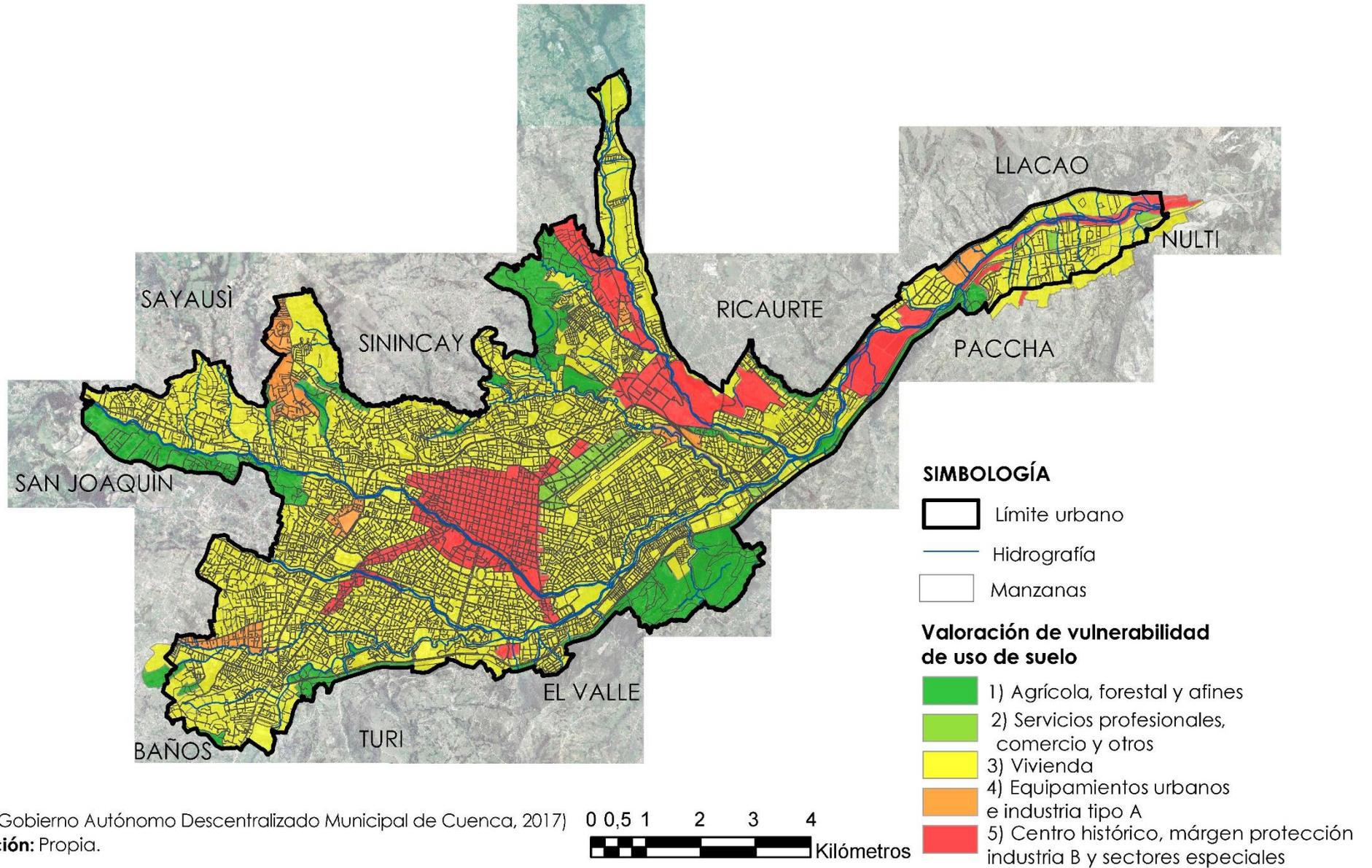
La vulnerabilidad del territorio está ligada a la presencia y actividad antrópica que se desempeña en el sitio, si bien un uso de suelo no presenta vulnerabilidad por sí sólo, se debe considerar siempre que, si hablamos de vulnerabilidad, el factor de presencia de personas en relación con el mismo debe ser valorada.

En primer lugar, como mayor vulnerabilidad se consideran las industrias tipo B, por su posible impacto en caso de desastre, adicional a ello se tienen márgenes de protección y sectores especiales, por la naturaleza de las actividades que se realizan, en el caso de Cuenca, se agrega en esta categoría el centro histórico, por lo que representa y su alto valor patrimonial. En el siguiente grupo, con valor cuatro, se han considerado los sectores que albergan equipamientos de alcance urbano e industrias tipo A; con valor tres, se considera la vivienda, porque es donde yacen las personas la mayor parte del tiempo y afectaría sus vidas de manera drástica en caso de pérdidas materiales en caso de desastre. En el segundo grupo, tenemos con valor dos los usos destinados a servicios profesionales y comercial, por su propia naturaleza de ser un uso complementario no vital para los habitantes y con valor uno se muestra los usos agrícolas, forestal y afines, porque si bien son importantes para el desarrollo de ciudad, no son de primer impacto o indispensables en primera instancia en la vida de las personas, y no afectaría directamente en caso de desastre.

La información utilizada para realizar este mapa es entregada por el Gobierno Municipal, se obtiene de las determinantes de uso y ocupación del suelo, que deberá ser actualizada, depurada y georreferenciada por cada Municipio, por lo cual esta información siempre estará al alcance. Se debe tomar en cuenta que cada plan de ordenamiento con sus determinantes de uso y ocupación de suelo tienen sus peculiaridades al momento de asignar usos principales, por lo que los aquí expuestos intentan englobar todos los existentes, explicar y ejemplificar la manera de asignar valoraciones, sin embargo, se debe acompañar del criterio de un profesional afín a la planificación, con el que deben contar todos los municipios, en caso de existir variación significativa a los usos aquí expuestos.



Figura 4.1.14. Mapa de factor: uso de suelo. Cuenca.



Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cuenca, 2017)
Elaboración: Propia.





4.2 Geoprocesamiento de la información para determinar zonas de riesgo

La presente descripción del geoprocesamiento de la información puede ser llevado a cabo en cualquier tipo de programa GIS, o mediante procesamiento de datos espaciales. El objetivo de este sub capítulo es que cualquier persona, sin necesidad de tener conocimientos previos del programa pueda llevar a cabo la metodología, con el fin de obtener resultados rápidos y confiables, la falta de personal con conocimientos de geoprocesamiento de información puede presentar un obstáculo para municipios grandes, medianos y pequeños, por lo que buscando brindar la incorporación de los riesgos en los planes de ordenamiento de las ciudades, se explica el paso a paso para obtener resultados similares a los aquí mostrados al

alcance de cualquier gobierno autónomo descentralizado municipal.

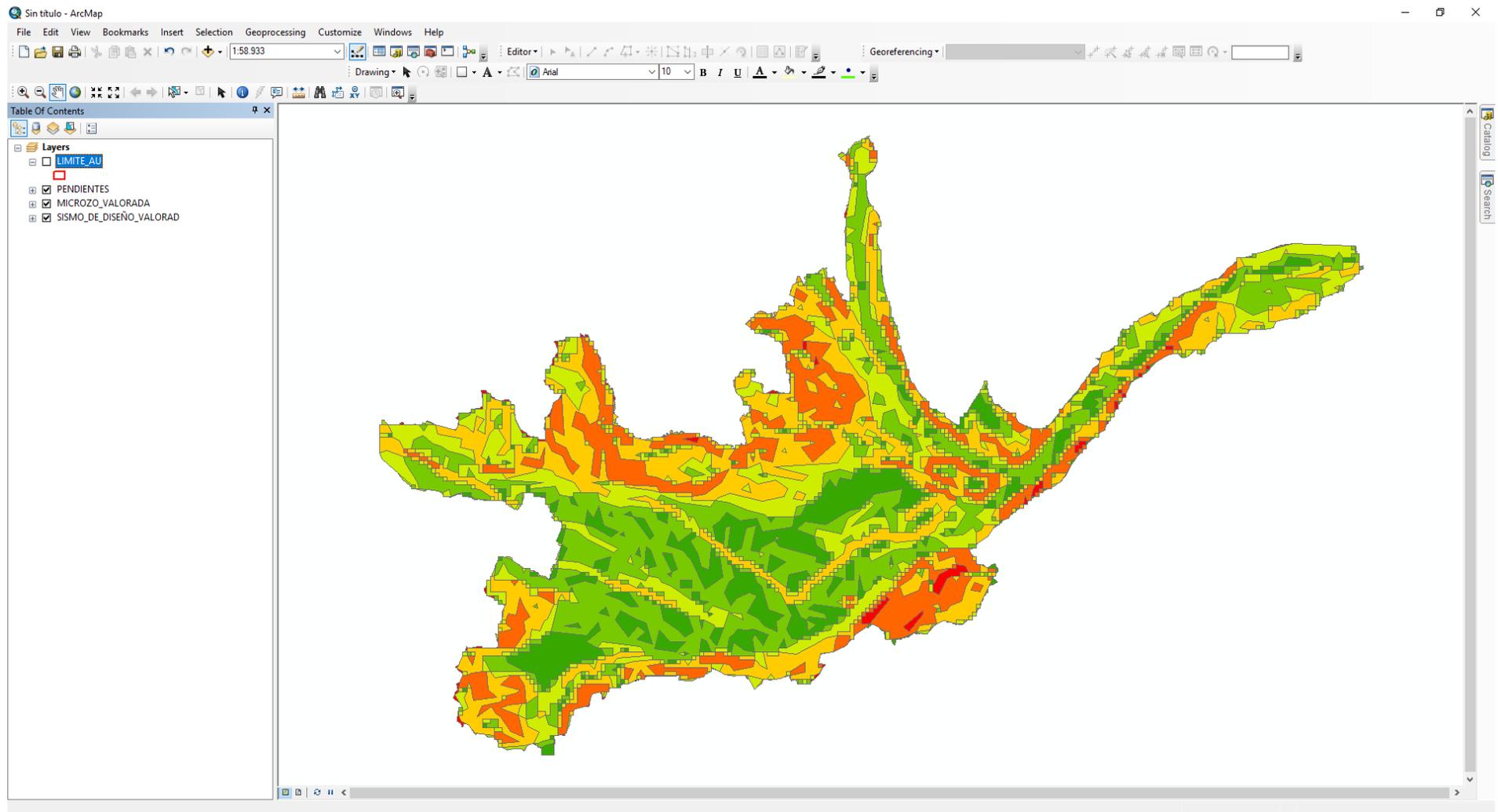
Se ha realizado previamente a este sub capítulo el esfuerzo para obtener los mejores resultados y los más cercanos a la realidad, la metodología definida anteriormente ha sido probada y se ha adaptado de la mejor manera a nuestro objeto de estudio, que son las ciudades intermedias de la Sierra ecuatoriana, tomando en cuenta la disponibilidad de información geográfica. Se ha considerado los geoprocesos que se llevarán a cabo, y se ha realizado una depuración completa de la información previa. Se debe indicar que adicional a la metodología aquí mostrada, se debe verificar la veracidad de la información con la cual se va a trabajar, puesto que en caso de ser errónea provocará así resultados ajenos a la realidad. A continuación, se explica paso a paso como realizar los procesos, con el fin de asegurar la aplicabilidad de la metodología en otras ciudades intermedias de la Sierra Ecuatoriana.

4.2.1. Geoprocesamiento de geoinformación

Para conseguir cada uno de los mapas temáticos es necesario tener como información base los shapes de cada uno de los factores influyentes con su respectiva valoración. Para el proceso descriptivo se realizará el mapa de Amenaza Sísmica, debiendo aplicarse sistemáticamente el mismo proceso para los diferentes mapas temáticos.



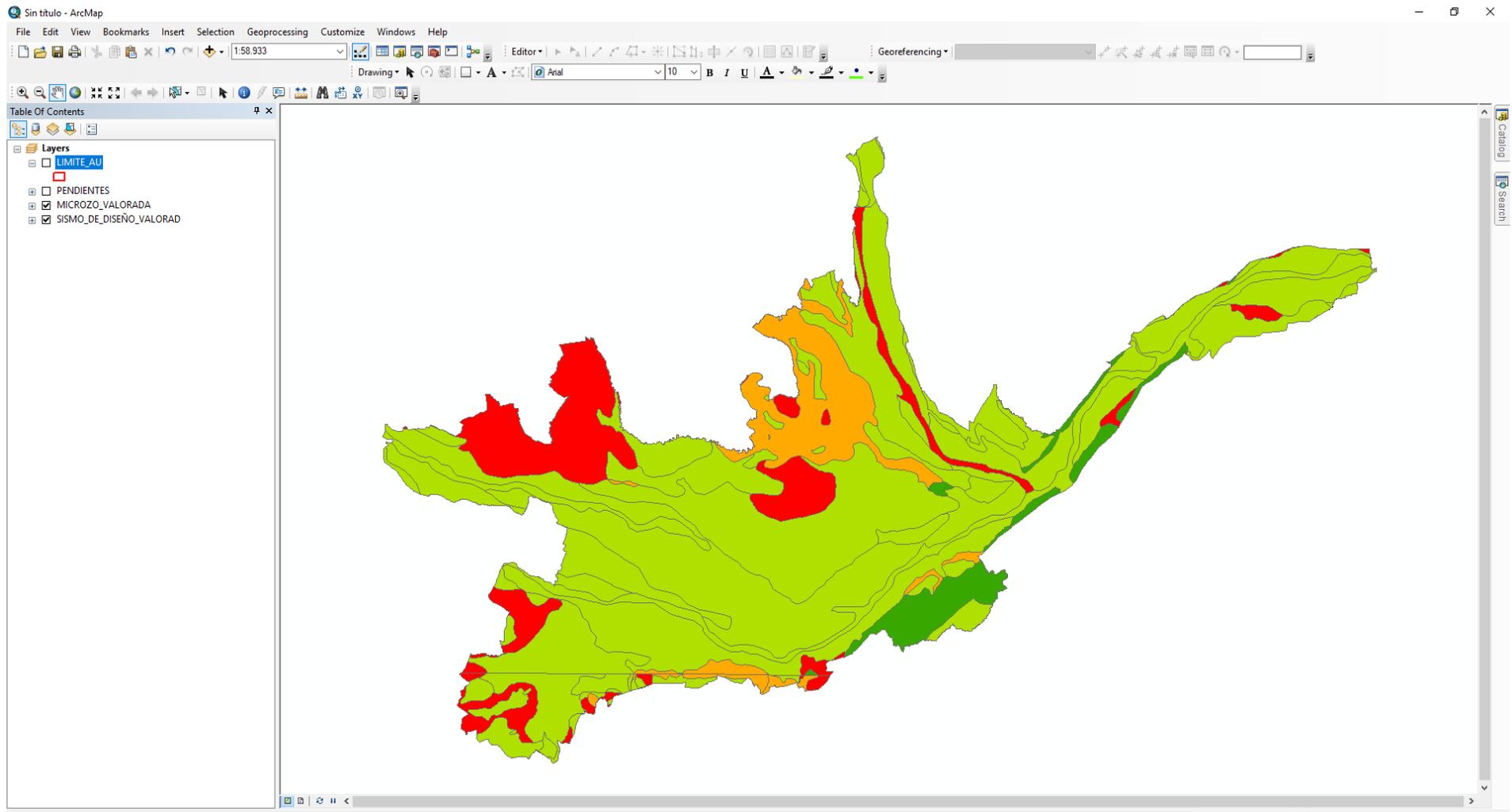
Figura 4.2.1. Mapa en ArcGis: mapa de valoración según pendientes.



Fuente: Elaboración propia.



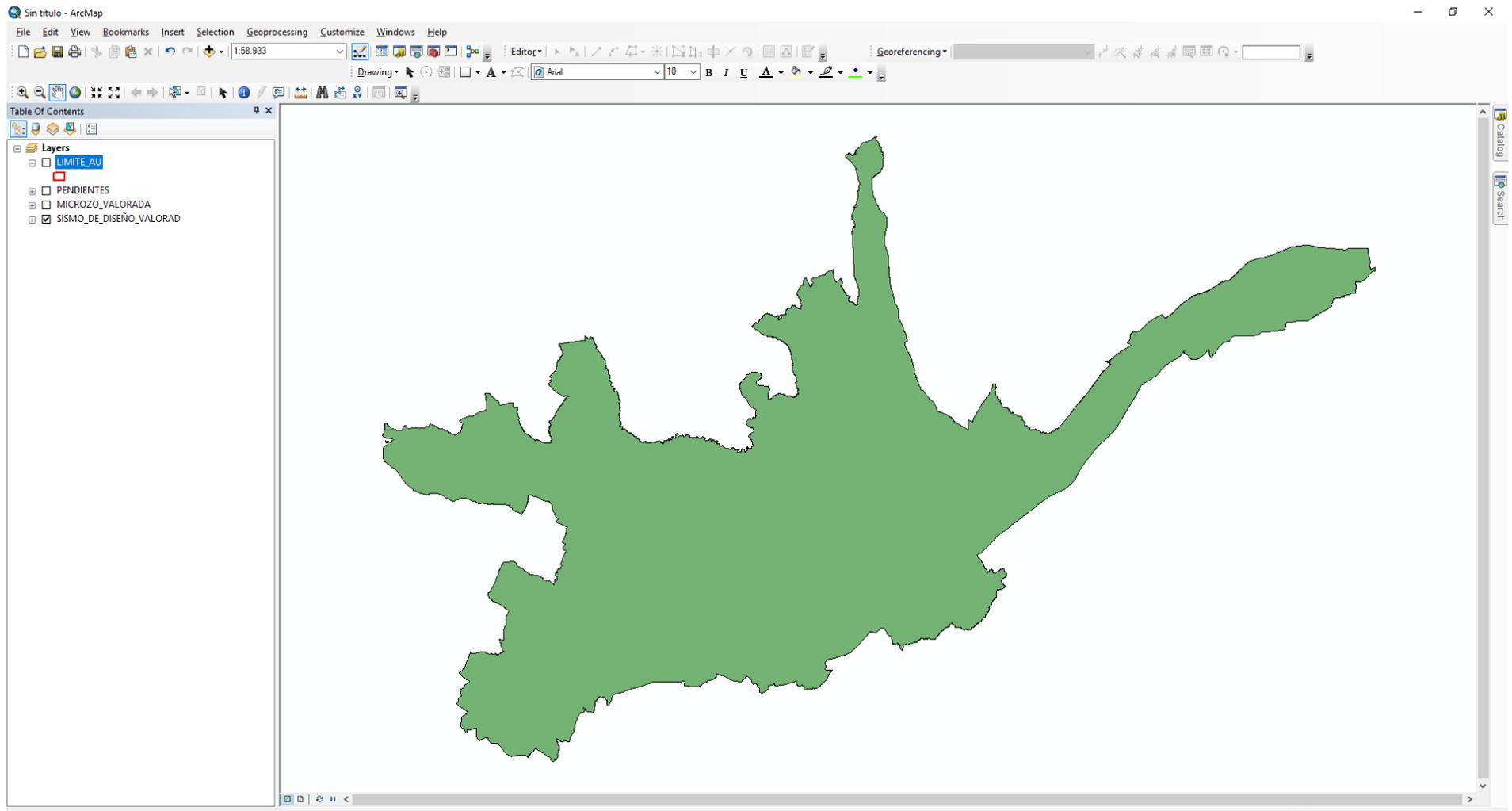
Figura 4.2.2. Mapa en ArcGis: mapa de valoración según microzonificación sísmica.



Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.2.3. Mapa en ArcGis: mapa de valoración según fallas geológicas – sismo de diseño.

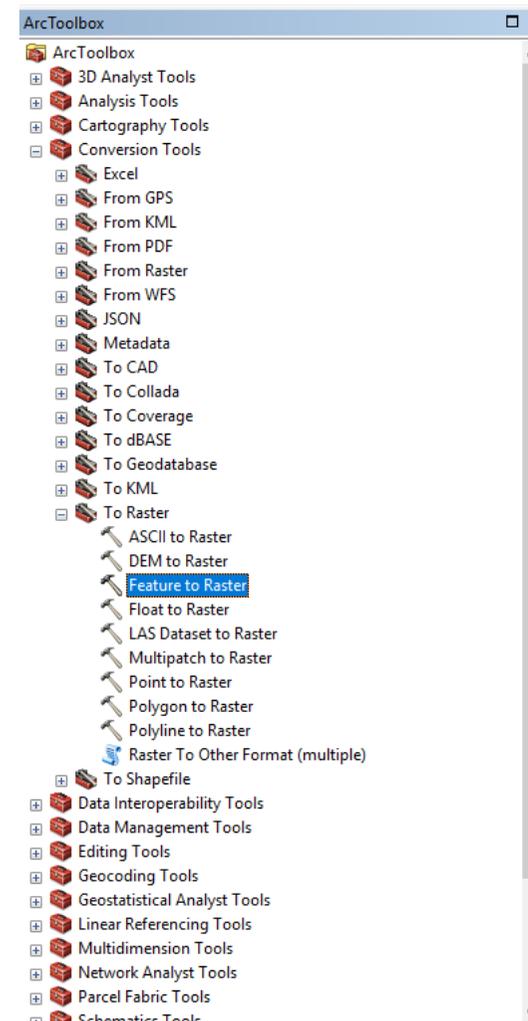


Fuente: Elaboración propia.



Al momento de tener como elementos base esta información, es necesario convertirlos en objeto raster para su posterior geoprocetamiento. Para lo cual, se utiliza la opción feature to raster, la misma que se encuentra en el subgrupo To Raster, en las herramientas de conversión que presenta el ArcToolBox.

Figura 4.2.4. Dirección en Arc Toolbox de la herramienta Feature to raster.

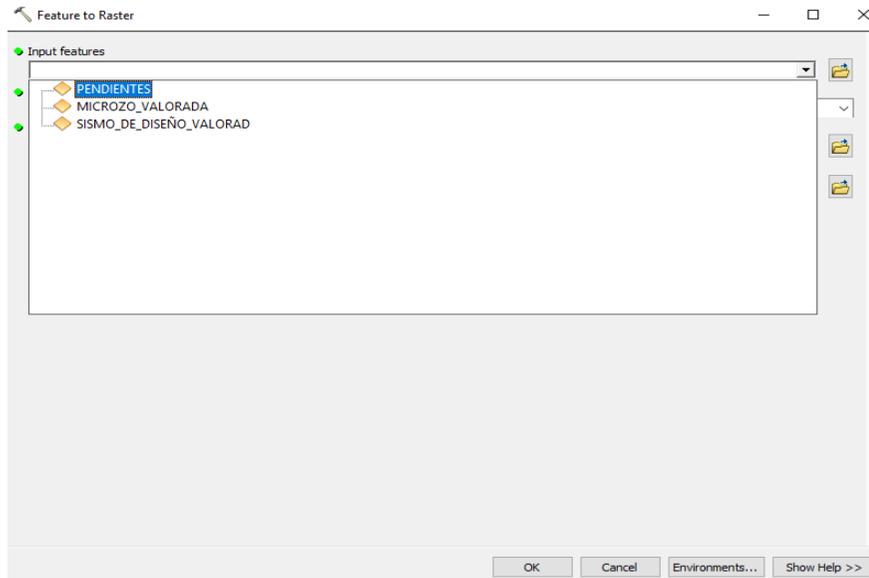


Fuente: Elaboración propia.



Como información de entrada o Input features, seleccionamos cada uno de los shapes base antes mencionados.

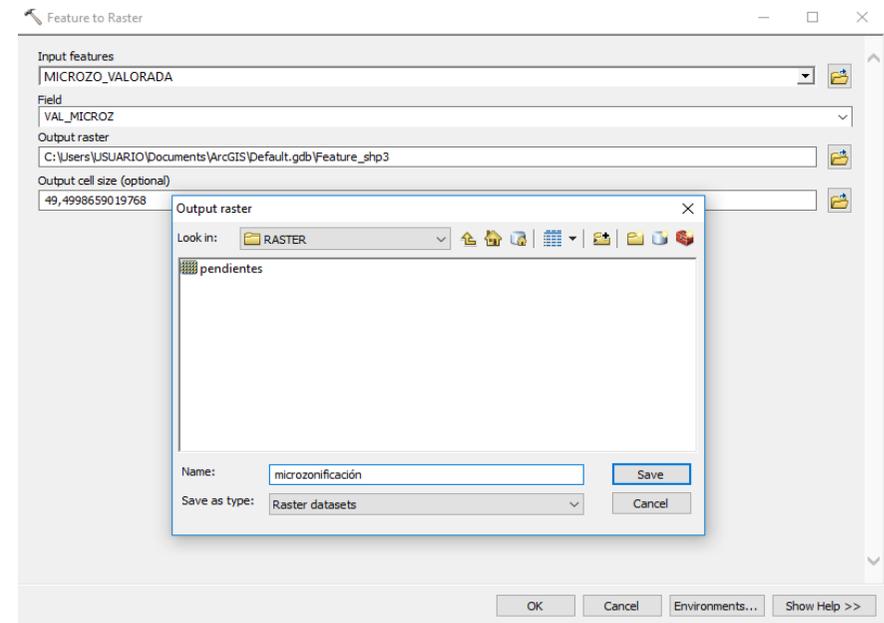
Figura 4.2.5. Herramienta Feature to raster, input.



Fuente: Elaboración propia.

Como paso final para esta parte del proceso, se establece los datos de salida u Output Raster, en donde se determina el nombre y la dirección en donde se guardará el archivo resultante. El usuario se debe asegurar que en la celda Field(Atributo) se seleccione la valoración correspondiente asignada.

Figura 4.2.6. Herramienta Feature to raster, output.

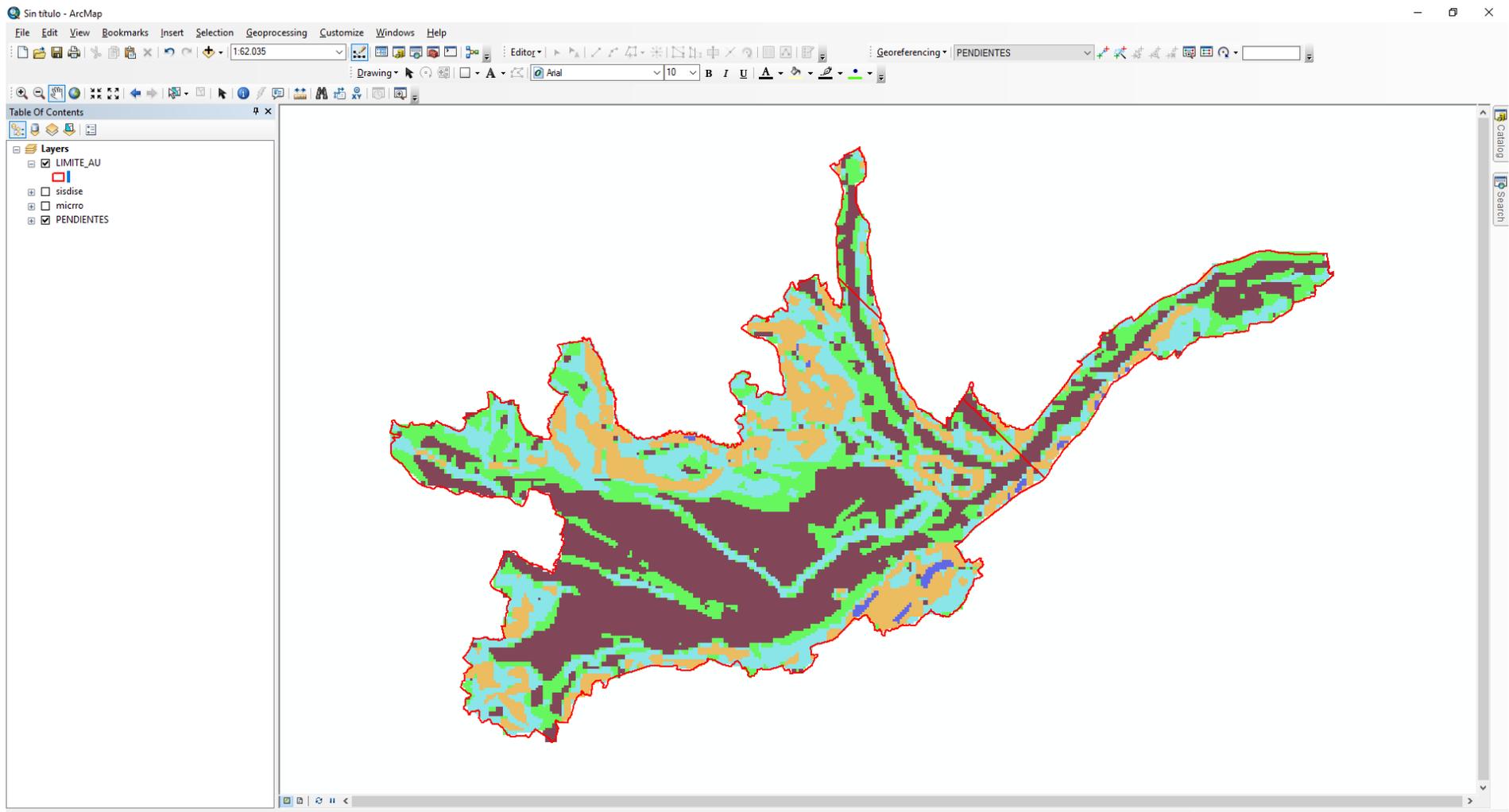


Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se obtiene tres objetos raster, para su posterior unión.



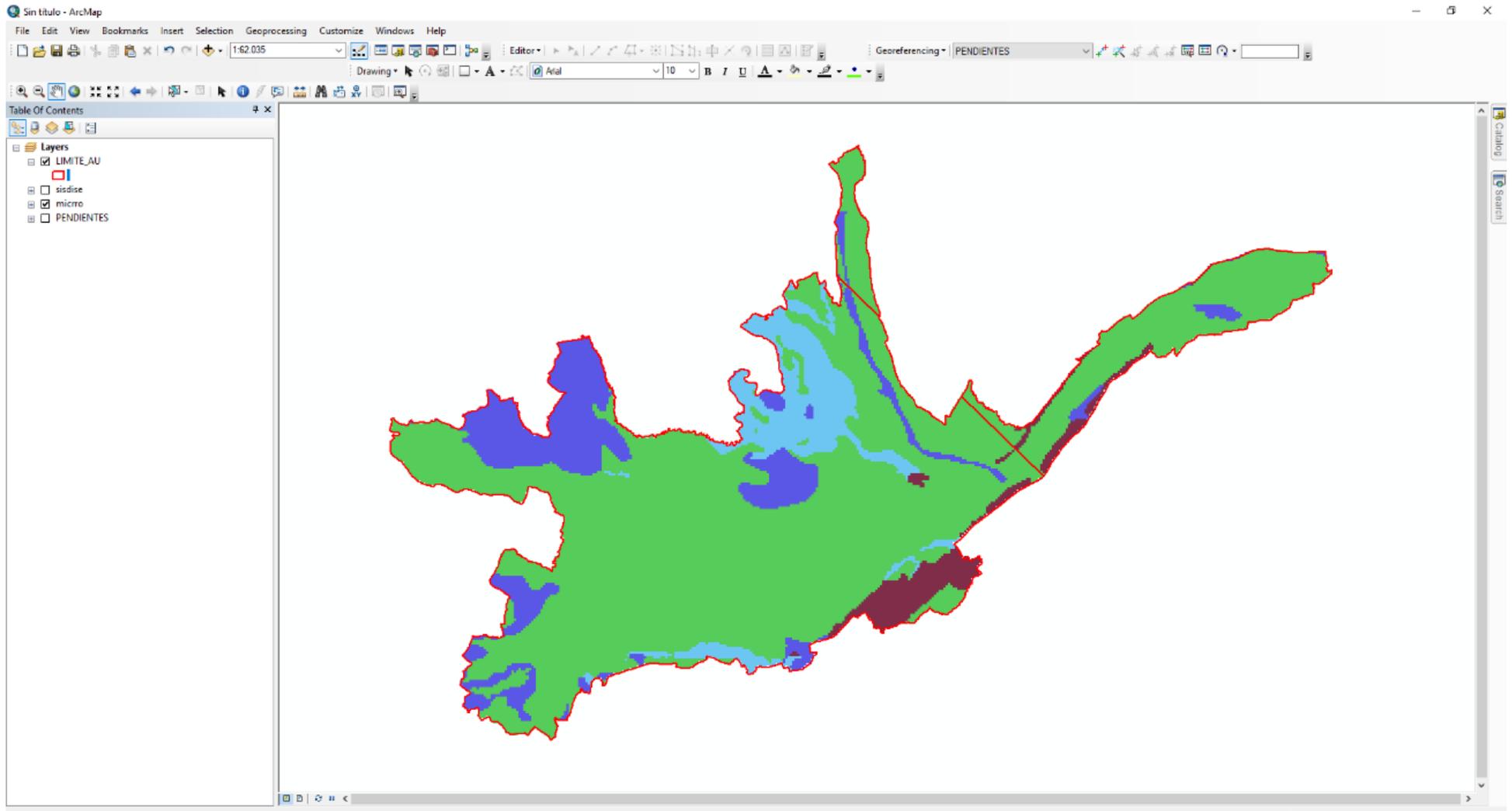
Figura 4.2.7. Mapa en ArcGis: rango de pendientes raster.



Fuente: Elaboración propia.



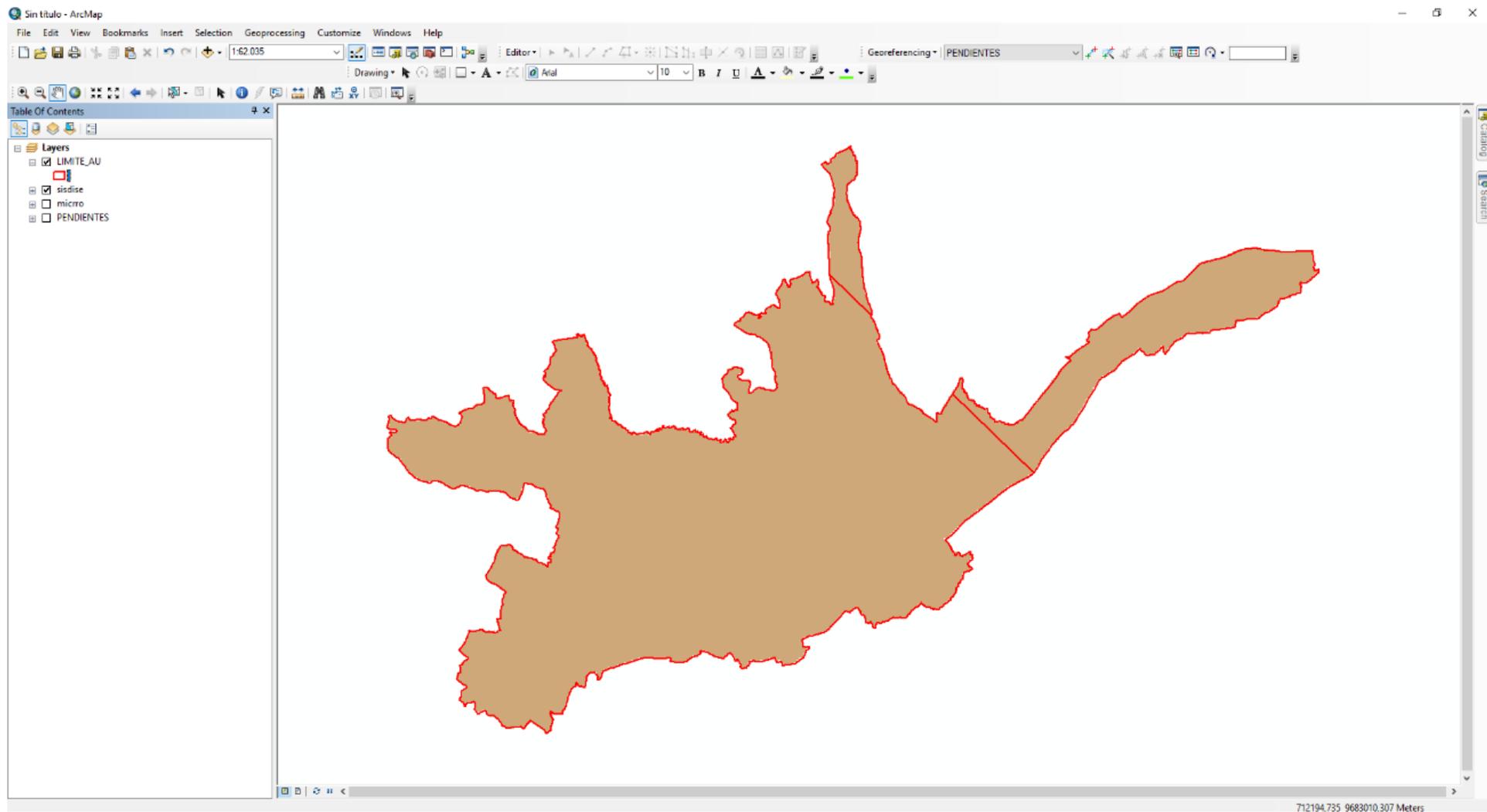
Figura 4.2.8. Mapa en ArcGis: microzonificación sísmica raster.



Fuente: Elaboración propia.



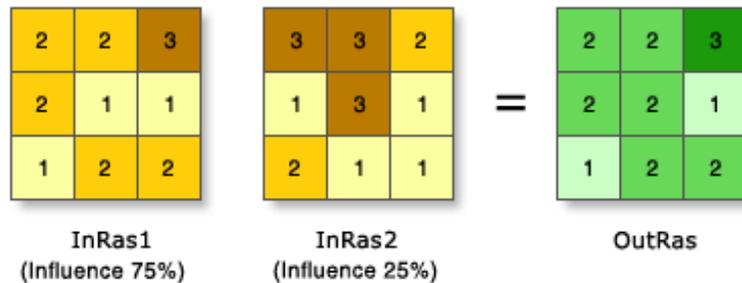
Figura 4.2.9. Mapa en ArcGIS: fallas geológicas – sismo de diseño raster.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para generar un resultado producto de las cinco variables, se aplica la herramienta Weighted Overlay. Esta opción se encuentra dentro de las herramientas de análisis espacial (Spatial Analyst Tools), y permite superponer varios rásteres usando una escala de medición común y pondera cada uno según su importancia o influencia.

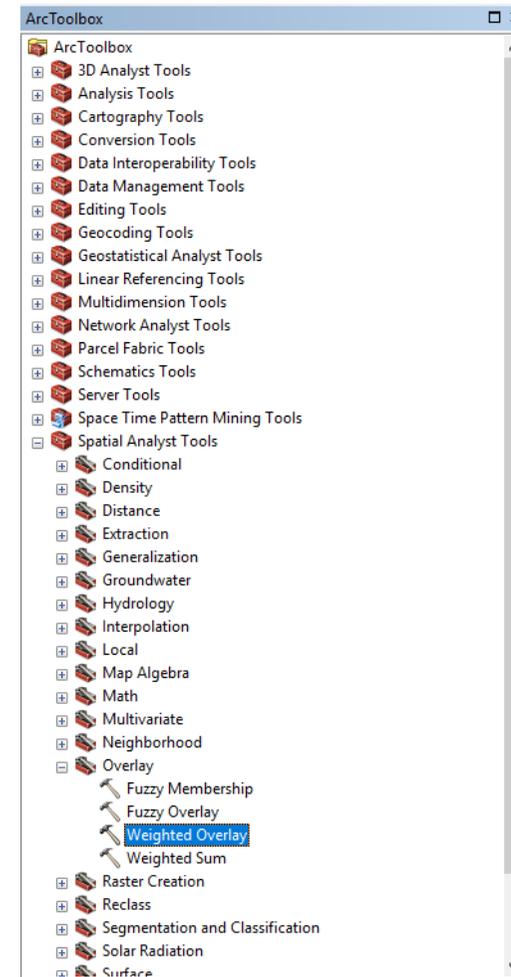
Figura 4.2.10. Esquema de funcionamiento herramienta Weighted Overlay.



Fuente: ESRI, 2018.

“En la ilustración, los dos rásteres de entrada se han reclasificado a una escala de medición común de 1 a 3. A cada ráster se le asigna una influencia porcentual. Los valores de las celdas se multiplican por su influencia porcentual y los resultados se suman para crear el ráster de salida. Por ejemplo, considere la celda superior izquierda. Los valores para las dos entradas se convierten en $(2 * 0.75) = 1.5$ y $(3 * 0.25) = 0.75$. La suma de 1.5 y 0.75 es 2.25. Como el ráster de salida de Superposición ponderada es entero, el valor final se redondea a 2.” (ESRI, 2018).

Figura 4.2.11. Dirección en Arc Toolbox de la herramienta Weighted Overlay.

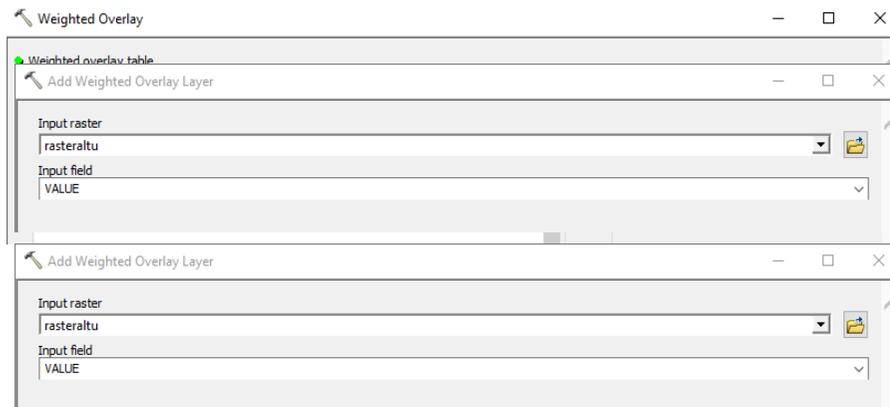


Fuente: Elaboración propia.



En la interfaz del panel de la herramienta existe la opción de agregar fila de rásteres (Add rásteres row). En la pestaña de Input Raster, seleccionamos cada uno de los raster base para incorporarlos al proceso.

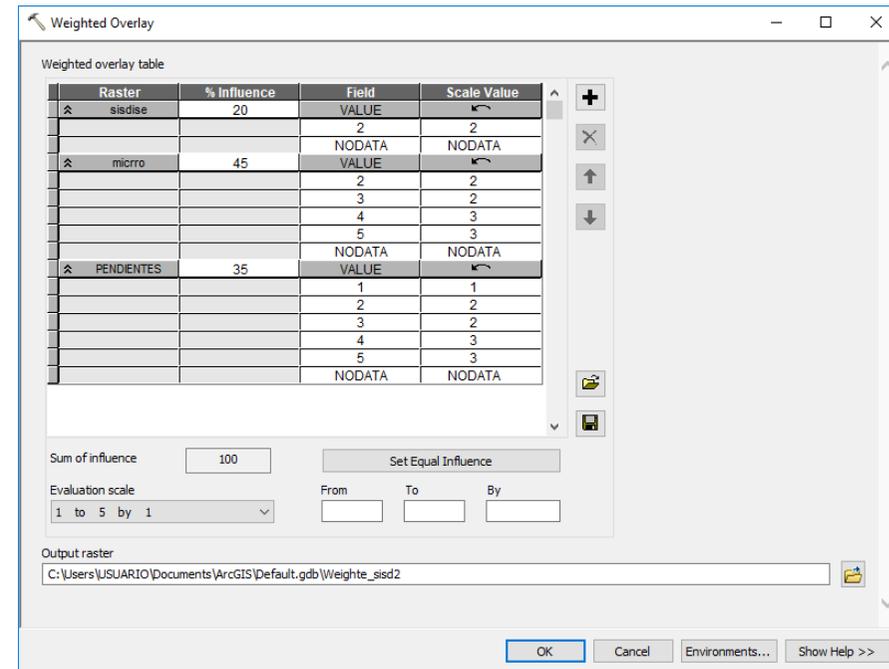
Figura 4.2.12. Herramienta Weighted Overlay, input.



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, es necesario establecer el porcentaje de importancia o influencia de cada variable, lo cual debe dar como resultado el 100%. Además, especificamos la escala de evaluación o los rangos que va a presentar el raster unificado. Igualmente determinamos el nombre y ruta de salida.

Figura 4.2.13. Herramienta Weighted Overlay, asignación de valores.

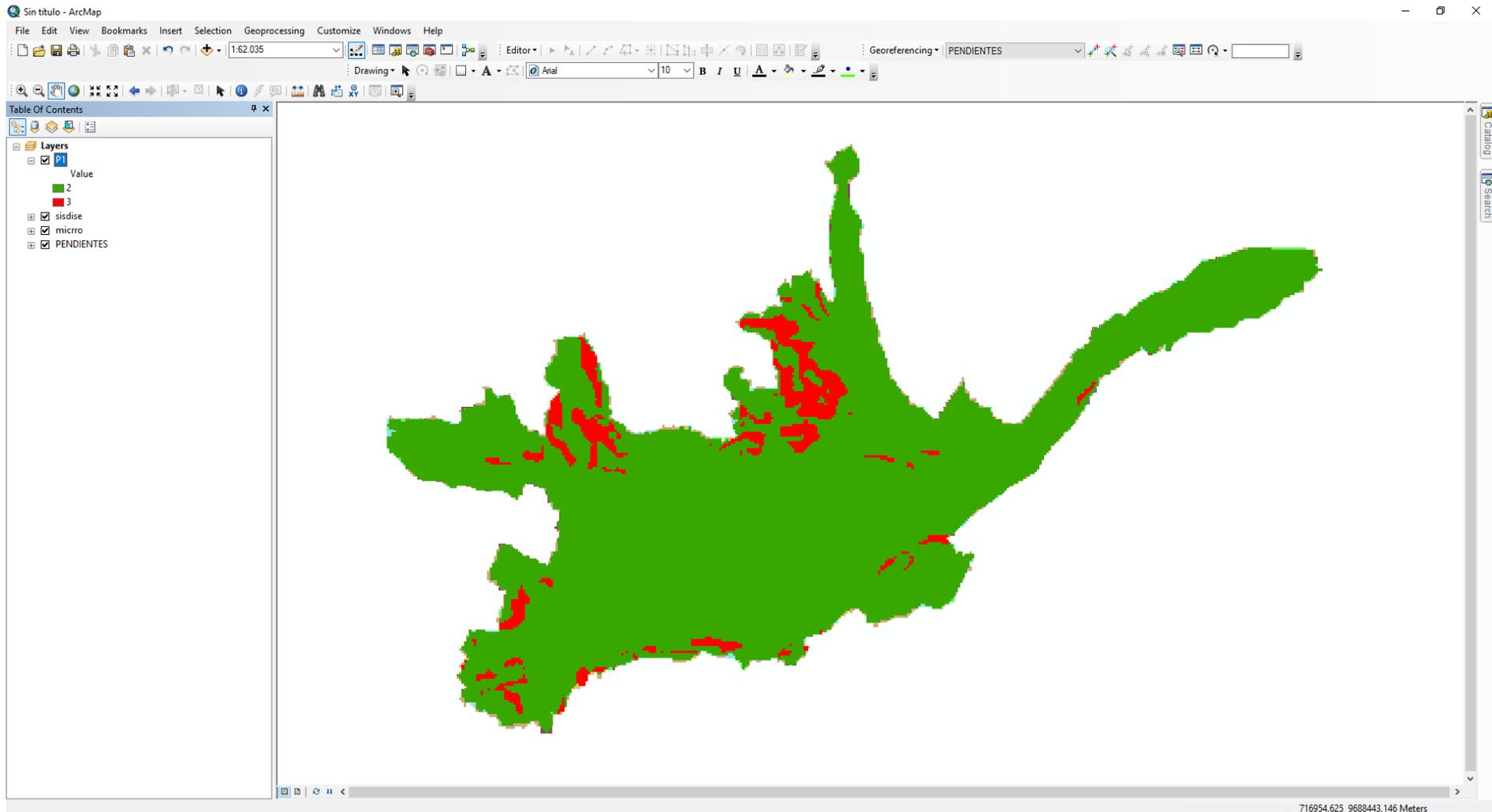


Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, obtenemos un raster en donde todas las variables influyentes se encuentran cruzadas según su ponderación. Dependiendo de la calidad de información que se ingrese, los valores asignados y el número de valores previos, se obtienen los resultados deseados.



Figura 4.2.14. Mapa en ArcGis: resultado amenaza sísmica raster.



Fuente: Elaboración propia.



Adicional al proceso descriptivo del proceso a seguir para obtener los diferentes mapas temáticos se incorporan dos tipos de esquemas para el mejor entendimiento de los factores previos y resultados, ellos son: modelo lógico del geoproceso y modelo físico del geoproceso.

4.2.2. Modelos de geoproceso

En primer lugar, debemos entender a un modelo como un diagrama, lo que permite seguir visualmente el flujo lógico de un trabajo a realizar por el sistema operativo. El uso de un modelo implica que se puede guardar el flujo de trabajo, es decir, permite que se pueda ejecutar innumerables veces y automatizar tareas, los modelos también ayudan a obtener rápidamente datos de salida, permiten una visualización amplia y completa del proceso de datos.

4.2.2.1. Modelo lógico del geoproceso

“Un modelo lógico contiene representaciones de entidades y atributos, relaciones, identificadores exclusivos, subtipos y supertipos y restricciones entre relaciones” (IBM Knowledge Center, 2018). Representa un diagrama de flujo de la información con las acciones a las que se someten los datos obtenidos y los fenómenos a los que está sometido antes de presentar el mapa final del proceso. Pueden ser tan simples o tan complejos como los geoprocesos que representen. Una vez definidas las relaciones, restricciones, flujos y procesos se pueden comenzar a construir el modelo físico partiendo del área de trabajo, a través

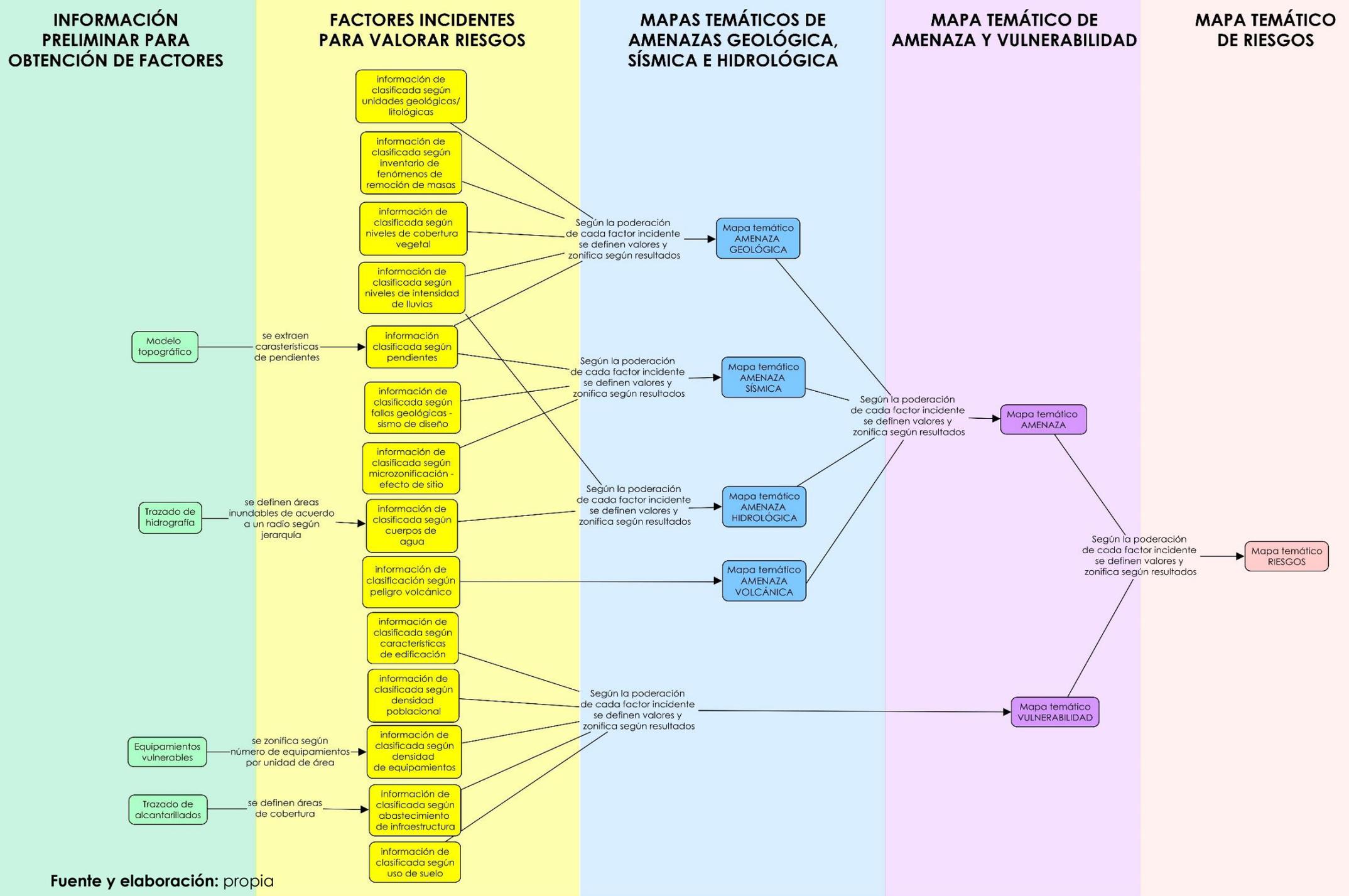
de las herramientas para la ejecución de geoprocesos dentro de la plataforma SIG.

4.2.2.2. Modelo físico del geoproceso

Este tipo de modelo es más complejo que el anteriormente descrito, maneja elementos e información propia del geoproceso de datos o un sistema de información geográfica. Describe los geodatos de entrada (input), el proceso que se aplica (herramienta de geoproceso) y datos de salida (output). El diagrama que refleja el modelo físico guarda similitud con el manejo de la herramienta Modelbuilder, permitiendo compartir como paquetes de geoprocesamiento, que admite una automatización lógica de proceso, y se la puede ingresar directamente en un SIG de iguales características. Muchas veces para la creación de nueva información, los valores de salida de una herramienta se convierten en los valores de entrada de otra, de modo que se forma una cadena de herramientas de geoproceso, así es como se construye de manera física el modelo, convirtiendo el flujo lógico de creación de información en herramientas dentro del SIG. Dado que contiene información técnica del proceso, si requiere del lector y/o usuario un previo entendimiento de funcionamiento de un GIS.

Estos modelos reflejan el flujo de información inicial y resultados paso a paso de este estudio, resumen de manera gráfica el proceso de evolución de datos y permite a un lector con o sin bases teóricas sobre el uso de sistemas de información especular sobre posibles resultados aplicando la metodología aquí descrita.

Figura 4.2.15. Modelo lógico de geoprocesos de metodología propuesta
 Universidad de Cuenca



Fuente y elaboración: propia





4.3 Resultados y mapa temáticos

Una vez realizado el geoprocesamiento antes descrito se crean diferentes mapas temáticos siguiendo la metodología propuesta en la presente investigación, cada uno de ellos contiene información diferente, la cual se ha obtenido de factores previos.

El objetivo de esta investigación es brindar herramientas, para que a partir del geoprocesamiento de información los municipios puedan tomar decisiones en función de los mapas resultados aquí presentados, facilite la planificación de las ciudades, brinde pistas clave para la asignación de las determinantes de uso y ocupación de suelo, permita inferir las áreas de expansión de ciudad, ayuda a crear y priorizar programas y proyectos en función de los riesgos a los que está expuesta la ciudad, ayuda a asignar de mejor manera el presupuesto municipal, y pretende

desarrollarse en conjunto con los criterios de planificación de la ciudad.

Los mapas aquí mostrados no pretenden reemplazar un estudio a detalle realizado por un equipo multidisciplinario de expertos, sino más bien busca solventar una falencia que se ha evidenciado en el transcurso del estudio, que es una falta de coordinación entre las vulnerabilidades, las amenazas, los riesgos y las políticas públicas generadas por municipios, la falta de coordinación entre la planificación urbana y las determinantes de riesgos, y la falta de asignación de los recursos necesarios para obtener resultados significativos que describan las amenazas del territorio.

A continuación, se muestran los diferentes mapas temáticos, resultados de la aplicación de la metodología en la ciudad de Cuenca, y da luces para posibles decisiones en relación a la planificación de la ciudad:



4.3.1. Amenaza geológica

Este mapa refleja la zonificación de amenaza de naturaleza geológica a las que está expuesta la ciudad, Cuenca goza de buenas características geológicas del suelo en la mayoría de su territorio, existiendo como máximo riesgo presencia de amenaza de nivel medio, y pequeños puntos en la zona Sur con carácter de amenaza geológica alta.

Con los resultados indicados en el mapa y en la búsqueda de coordinar estos resultados con las decisiones a tomar en relación con el uso y ocupación del suelo, se realizan las siguientes sugerencias:

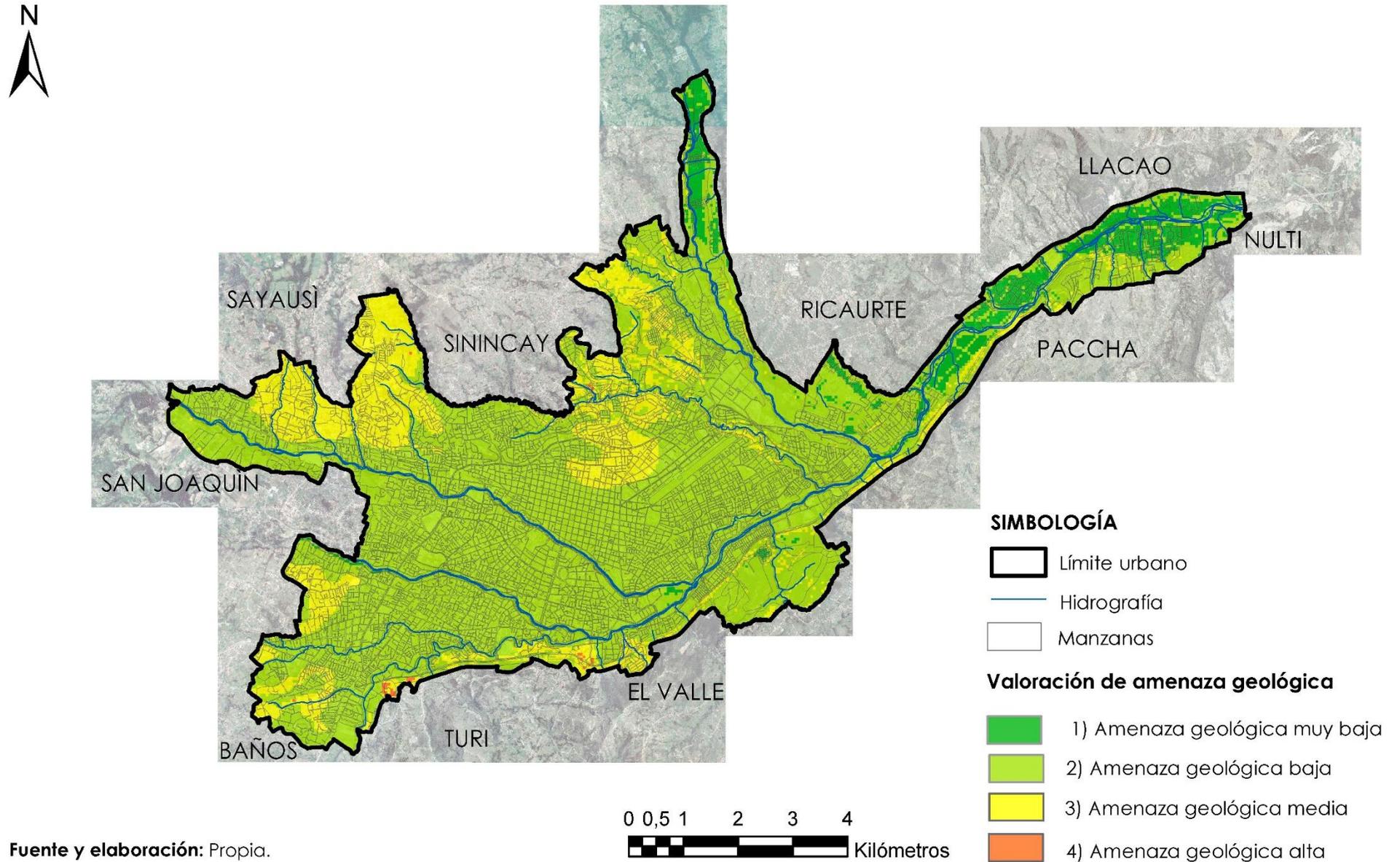
- a) En las zonas de territorio con características de amenaza geológica alta, al no representar suficiente superficie como para zonificarla como un sector de planeamiento, se propone limitar las características de uso, permitiéndose solamente aquellos usos de carácter agrícola, forestal o de aprovechamiento del medio físico, ya sea privado o público, siempre y cuando no se permita la edificación dentro de los predios que aquí se puedan encontrar.
- b) Dado que las zonas catalogadas como amenaza geológica media son de mayor superficie y representan un mayor porcentaje del territorio, se propone una redistribución de los sectores de planeamiento, con el fin que entre las características homogéneas de los sectores, se tome en cuenta la vulnerabilidad geológica, lo que permitirá una asignación de determinantes de uso y

ocupación del suelo más acordes a sus características de recibir usos y edificaciones del suelo. En estos sectores se propone limitar la altura máxima de edificaciones, tomando en cuenta otras características físicas del sitio, además de ello no se podrán asignar usos de suelo industrial, no se podrán emplazar equipamientos de alcance urbano y la densidad de vivienda deberá ser entre media y baja, dependiendo de las características que requiera la ciudad para albergar habitantes.

- c) En el caso de las áreas de suelo catalogadas con amenaza baja y muy baja no existirán limitaciones desde el punto de vista de amenaza geológica, debiendo siempre realizar el estudio de otras características que puedan cambiar sus determinantes de uso y ocupación.



Figura 4.3.1. Mapa temático: amenaza geológica. Cuenca.



Fuente y elaboración: Propia.



4.3.2. Amenaza sísmica

Este mapa refleja la zonificación de amenaza de naturaleza sísmica a las que está expuesta la ciudad, Cuenca posee buenas características sísmicas del suelo en la mayoría de su territorio, existiendo como máximo riesgo presencia de amenaza de nivel medio, y manchas de baja superficie en el Noroeste y Suroeste del territorio con descripción de amenaza alta.

Con los resultados indicados en el mapa y en la búsqueda de coordinar estos resultados con las decisiones a tomar en relación con el uso y ocupación del suelo, se realizan las siguientes sugerencias:

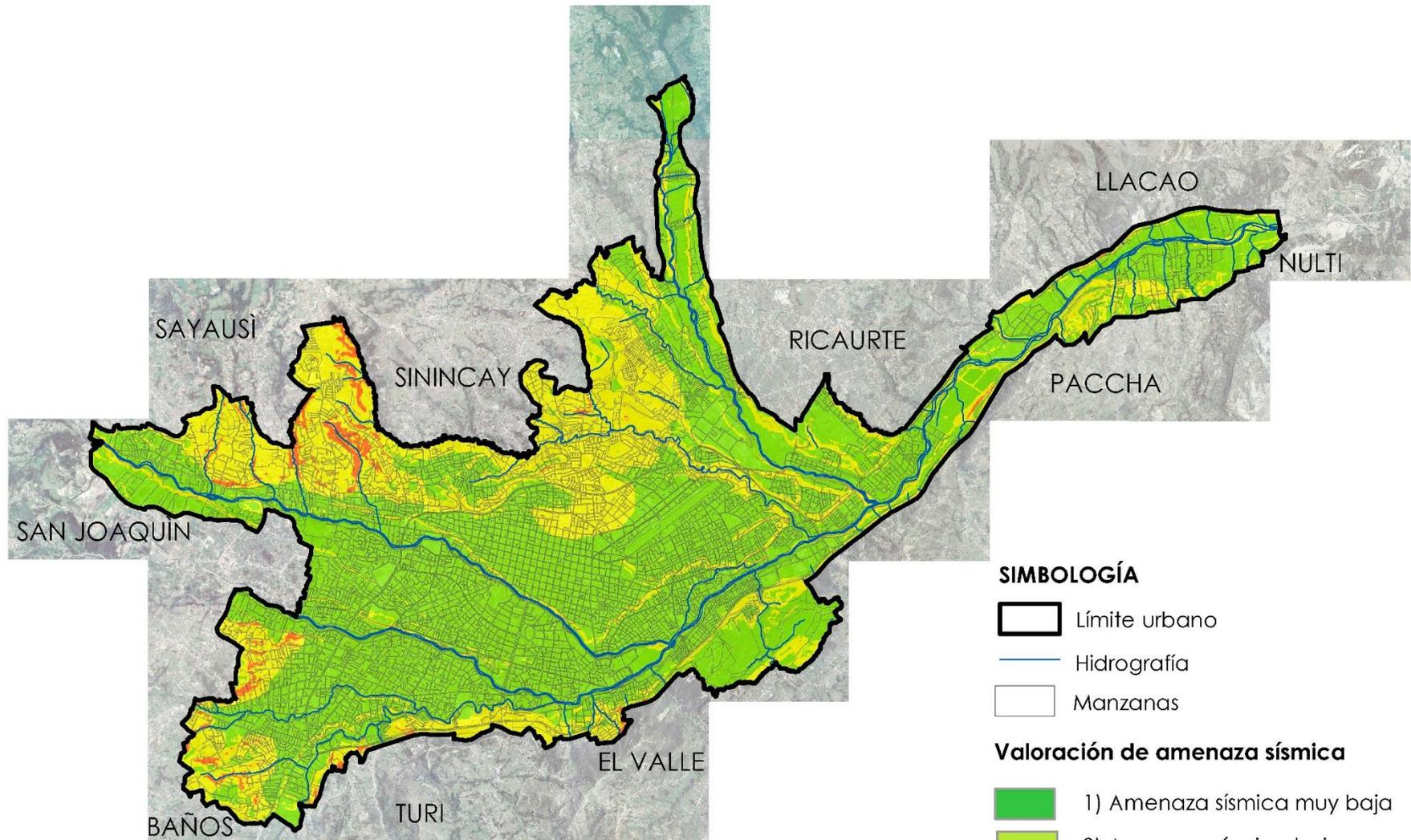
- a) En las áreas catalogadas con amenaza sísmica alta, no se las puede dimensionar como sectores de planeamiento para su asignación de determinantes de uso y ocupación, sin embargo se sugiere un estudio de detalle, donde exista un diagnóstico de las edificaciones que estén emplazadas dentro de estas áreas, el número de familias afectadas, si el uso de suelo que aquí exista conlleva la presencia de personas ajenas, evaluar la existencia de equipamientos y su alcance y proponer ya sea nuevas determinantes de uso y ocupación o proyectos que aseguren la permanencia y vida digna de las personas que aquí habiten en la actualidad.
- b) En el caso de áreas con amenaza sísmica media, dadas sus características geométricas, resultados de las unidades litológicas y microzonificación sísmica, existen zonas

donde se puede proponer un rediseño de sectores de planeamiento, sin embargo, en aquellas áreas donde no se evidencie grandes superficies, no se podrá actuar de la misma forma.

- c) Según lo descrito en el inciso b, en áreas donde se pueda cambiar las determinantes de uso y ocupación, se deberá limitar la altura de edificaciones, además de ello no se podrán emplazar equipamientos de alcance urbano. Los usos de suelo no podrán ser industriales y se deberá verificar las edificaciones que puedan estar inventariadas dentro del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural.
- d) Según lo descrito en el inciso b, en áreas donde no se pueda cambiar las determinantes de uso y ocupación de suelo se sugiere realizar un estudio de detalle para diagnosticar la afección de edificaciones y número de familias, ya que las áreas que por su geometría no puede convertirse en sectores de planeamiento, son colindantes con áreas asignadas con amenaza sísmica alta.



Figura 4.3.2. Mapa temático: amenaza sísmica. Cuenca.



Fuente y elaboración: Propia.





4.3.3. Amenaza hidrológica

Este mapa refleja la zonificación de amenaza de naturaleza hidrológica a las que está expuesta la ciudad, Cuenca posee cuatro ríos principales, y varias quebradas que en ellos desembocan, por lo que su capacidad de dren natural de las aguas es evidente, sin embargo, dentro de estos causes y en caso de existir altos niveles de lluvia, podrían desbordarse y causar conflictos a los habitantes. Adicionalmente el mapa generado evidencia que la ciudad no cuenta con una amenaza hidrológica significativa dadas las cantidades de agua máximas registradas que ha recibido.

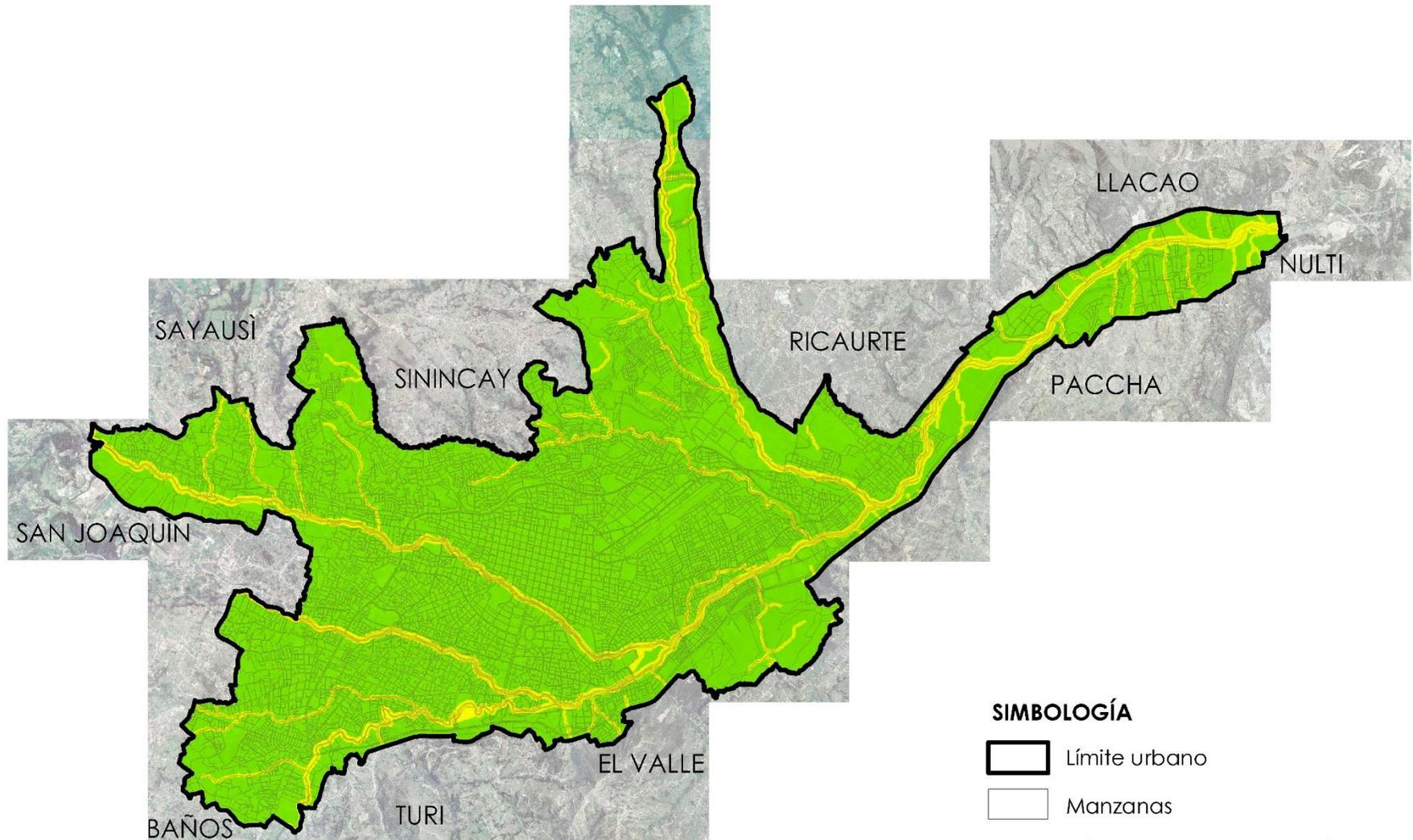
Con los resultados indicados en el mapa y en la búsqueda de coordinar estos resultados con las decisiones a tomar en relación con el uso y ocupación del suelo, se realizan las siguientes sugerencias:

- a) Las áreas de suelo donde se muestra posible amenaza hidrológica siguen la geometría de los ríos, en el caso de Cuenca ya se han implementado ordenanzas que propenden tanto la conservación de áreas naturales en riveras de ríos y márgenes de protección, como para las edificaciones emplazadas dentro de ellos.
- b) Si bien en el caso de Cuenca, ya se han realizado correctivos al respecto se debe dejar indicando que acciones urgentes realizar en caso de no haber legislación, como puede suceder en el caso de otros Municipios. Las márgenes de protección de ríos requieren

en caso de encontrarse dentro del área urbana, y sabiendo que la ciudad está en constante crecimiento, se deberán delimitar las áreas inundables de la ciudad, y evitar ineludiblemente la construcción de nuevas edificaciones dentro del área delimitada como de protección. Los usos de suelo destinadas a estas áreas serán aquellas que no necesiten la construcción de edificaciones nuevas y serán de uso público, pudiendo destinarse para parques lineales, uso forestal y agrícola sólo en algunos casos especiales, siguiendo los lineamientos determinados por el grupo multidisciplinario encargado del estudio antes descrito.



Figura 4.3.3. Mapa temático: amenaza hidrológica. Cuenca.



SIMBOLOGÍA

-  Límite urbano
-  Manzanas

Valoración de amenaza hidrológica

-  2) Amenaza hidrológica baja
-  3) Amenaza hidrológica media



Fuente y elaboración: Propia.



4.3.4. Amenaza

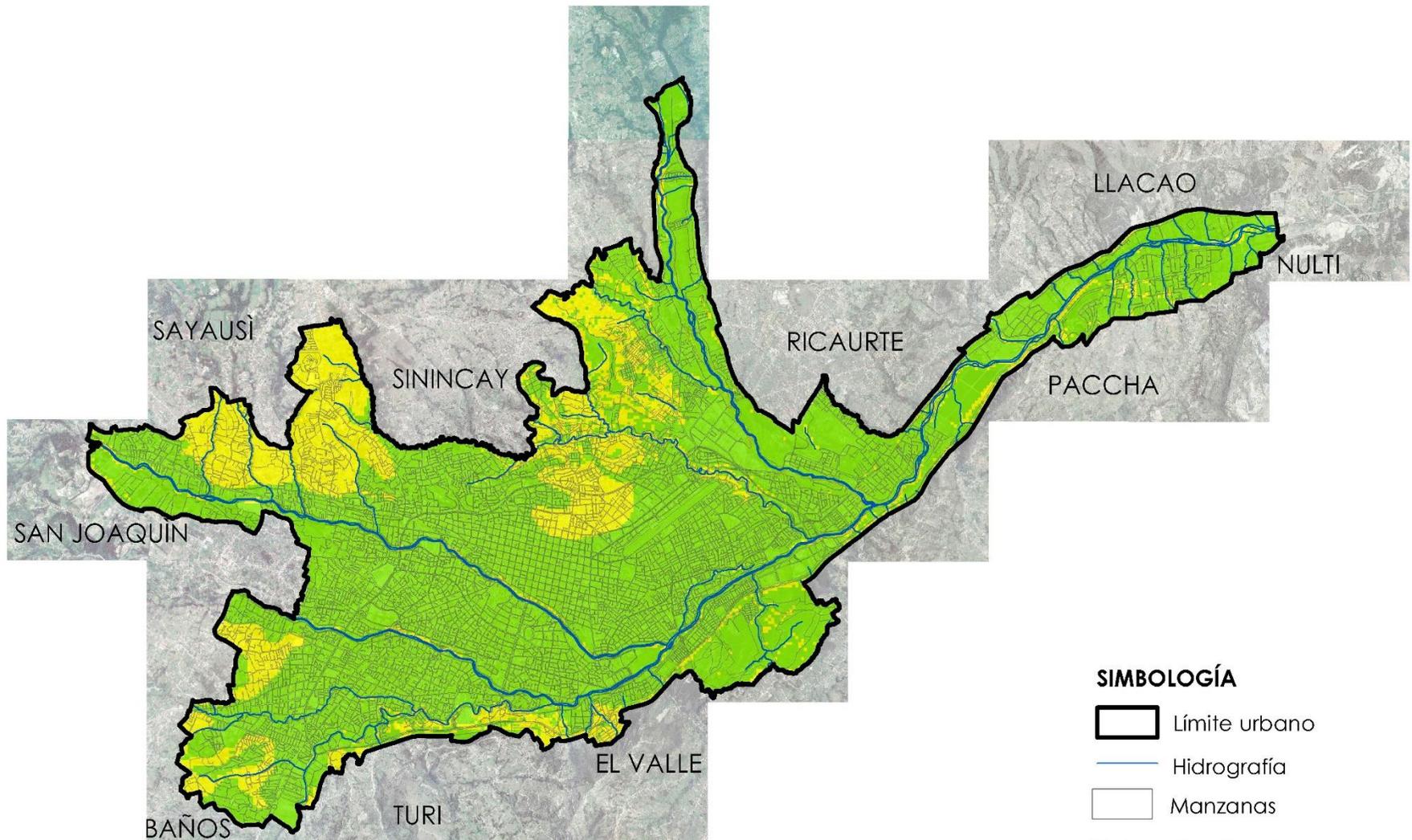
Este mapa refleja la zonificación de amenaza a las que está expuesta la ciudad, Cuenca no muestra amenaza alta o muy alta, sin embargo, no se pueden pasar por alto las áreas de amenaza media indicadas en el mapa.

Con los resultados indicados en el mapa y en la búsqueda de coordinar estos resultados con las decisiones a tomar en relación con el uso y ocupación del suelo, se realizan las siguientes sugerencias:

- a) Habiendo descrito con anterioridad las decisiones a tomar en relación con cada uno de los tipos de amenaza, en primer lugar, se deberán realizar las observaciones enumeradas en amenaza geológica, amenaza sísmica y amenaza hidrológica.
- b) Siguiendo la geometría de las superficies expuestas como amenaza media, se deberán verificar la existencia de equipamientos de alcance urbano, además de la existencia de edificaciones inventariadas dentro del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, con el fin de realizar las modificaciones, reubicaciones o reforzamiento que se requiera según cada caso específico.
- c) Se deberá analizar la posibilidad de delimitar nuevos sectores de planeamiento, ya que al mostrar amenaza alta en este mapa se debe coordinar las características físicas aquí mostradas con las determinantes de uso y ocupación del suelo.



Figura 4.3.4. Mapa temático: amenaza. Cuenca.



SIMBOLOGÍA

-  Límite urbano
-  Hidrografía
-  Manzanas

Valoración de amenaza

-  2) Amenaza baja
-  3) Amenaza media



Fuente y elaboración: Propia.



4.3.5. Vulnerabilidad

Este mapa refleja la zonificación de vulnerabilidad a las que está expuesta la ciudad, es inherente de las ciudades, ya que son fenómenos resultados de las manifestaciones antrópicas en el territorio, pero sabiendo que mientras más crezca una ciudad, más crece su vulnerabilidad se deben realizar acciones al respecto. En la ciudad de Cuenca se muestra como vulnerable el sector de planeamiento donde se emplaza el centro histórico por sus propias características de edificación, uso de suelo, presencia de edificaciones de valor patrimonial, concentración de equipamientos y personas.

Con los resultados indicados en el mapa y en la búsqueda de coordinar estos resultados con las decisiones a tomar en relación con el uso y ocupación del suelo, se realizan las siguientes sugerencias:

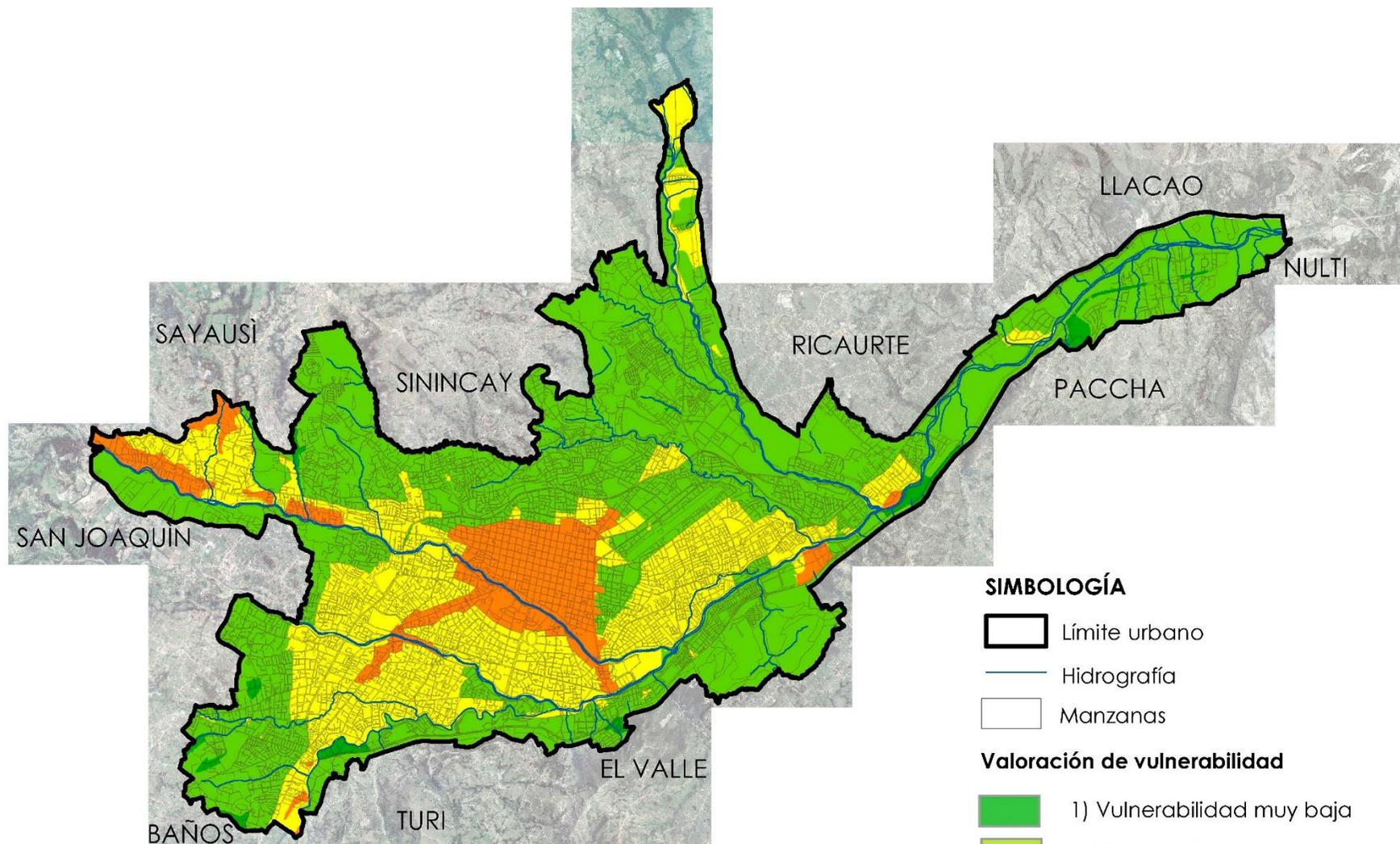
- a) En los sitios catalogados con vulnerabilidad alta, ajenos al centro histórico, sino que más bien se encuentran en la periferia de la ciudad, muestran esta vulnerabilidad principalmente por sus características de edificación, no se puede dejar de construir pero si se puede buscar que se cumplan las disposiciones dispuesta en las determinantes de uso y ocupación de suelo ya que son especialmente estos lugares donde se debe priorizar que las mismas se cumplan, siendo testigos de múltiples atropellos a las determinantes legisladas mediante ordenanza, por lo que a pesar de que se debe dar

cumplimiento en todo el territorio urbano, estos son los sitios donde se debe dar mayor vigilia y sanciones en caso de incumplimiento de la normativa.

- b) En el caso del centro histórico de la ciudad de Cuenca, por las características antes descritas que este reúne, ya se han dado los estudios y determinantes del caso, no obstante, se debe sugerir como ejemplo para otras ciudades en donde existan condicionantes similares del área urbana, y sobre todo alto valor del centro histórico.
- c) Se deberá además analizar la creación de un proyecto de recaudación y reforzamiento de estructuras si así se viera requerido posteriormente de un estudio de detalle realizado en el caso de otras ciudades donde se aplicare la metodología.
- d) Se sugiere la implementación de planes y proyectos que aseguren una ágil resiliencia en caso de desastre, es imposible alejar la vulnerabilidad de las ciudades, sin embargo, suscitado un fenómeno natural se deberán realizar las acciones necesarias para mitigar las consecuencias tanto en vidas humanas como en bienes materiales.



Figura 4.3.5. Mapa temático: vulnerabilidad. Cuenca.



Fuente y elaboración: Propia.



4.3.6. Riesgo

Este mapa refleja la zonificación de riesgos a las que está expuesta la ciudad, indiscutiblemente toda ciudad tendrá zonas de riesgo que pudieren verse afectadas en caso de fenómenos naturales, el encuentro de características de suelo con el asentamiento de personas conlleva estas consecuencias. En la ciudad de Cuenca se muestra con riesgo alto la zona al Norte del centro histórico, en el Noroeste un sector colindante con Sayausí, y pequeñas áreas en el área del Barranco.

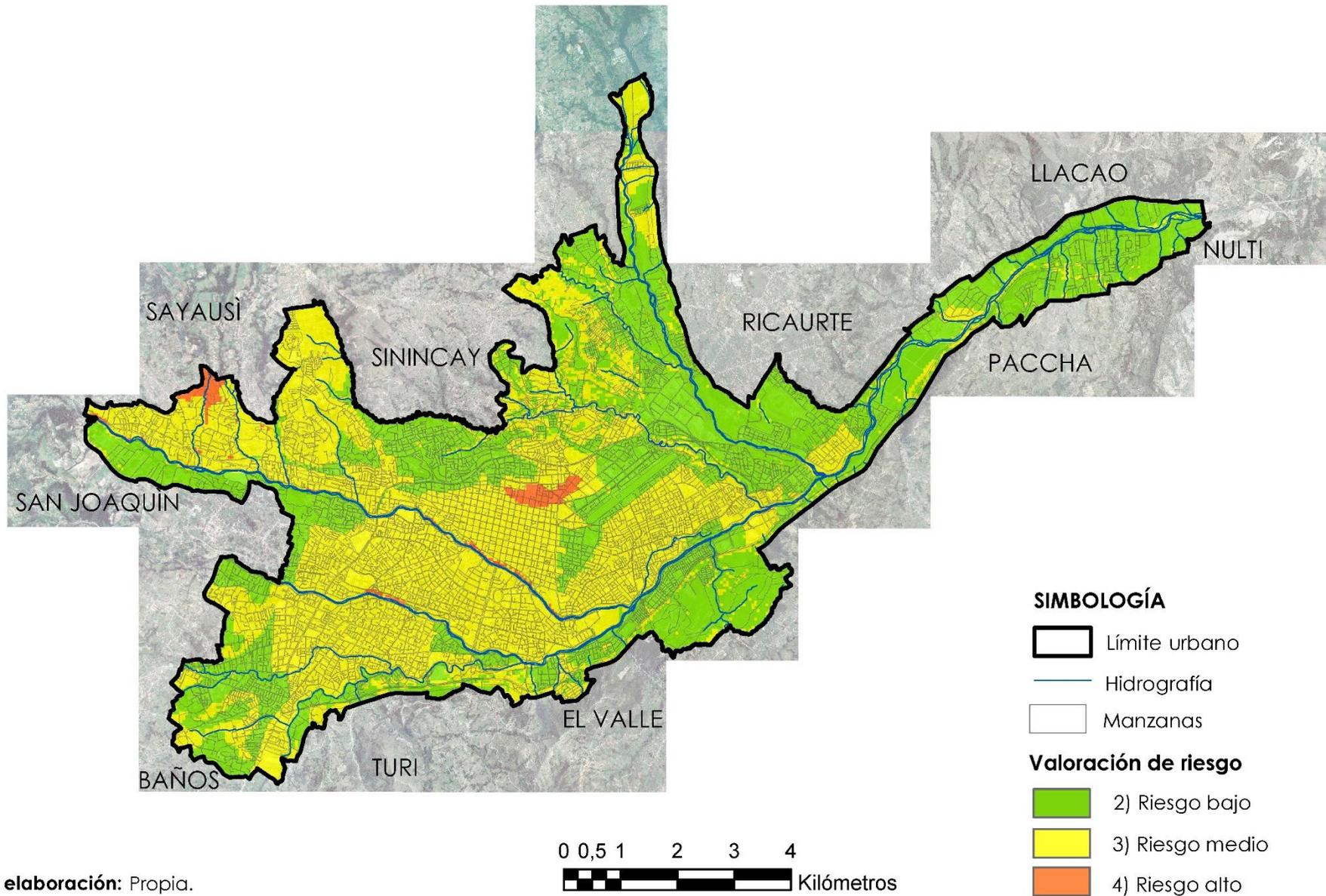
Con los resultados indicados en el mapa y en la búsqueda de coordinar estos resultados con las decisiones a tomar en relación con el uso y ocupación del suelo, se realizan las siguientes sugerencias:

- a)** En zonas puntuales, con pequeñas áreas de riesgo alto, se sugiere un estudio de edificaciones y refuerzo de estructuras en caso de edificaciones existentes.
- b)** En la zona colindante con Sayausí, se sugiere la delimitación del área con riesgo, y crear un sector de planeamiento con determinantes de uso y ocupación acordes con la presencia de característica de riesgo. Se sugiere hacer un estudio de detalle y diagnóstico de las edificaciones ya existentes.
- c)** En el caso de la superficie de riesgo alto ubicado en el centro histórico, se sugieren llevar a cabo varios cambios en cuanto a las determinantes de uso y ocupación del suelo. En primer lugar, se deberá realizar un inventario con

descripción y características de predios y edificaciones ya existentes. Se debe asegurar accesibilidad a todos los predios con el fin de en caso de suscitarse un desastre se pueda atender a todas las familiar y personas que aquí habitan. Adicional a ello, se debe tener en cuenta la evaluación y posible reforzamiento de estructuras de edificaciones existentes. Se deberá reubicar en caso de presencia de equipamientos de alcance urbano, y evaluar la misma opción para equipamientos de carácter vulnerable. Adicionalmente se deberá evaluar el reforzamiento de infraestructura de servicios para que puedan responder eficazmente antes desastres, o al menos exigir mejores características en caso de implementación de nuevas.



Figura 4.3.6. Mapa temático: riesgo. Cuenca.



Fuente y elaboración: Propia.





Conclusiones

M. Belén Vega Medina
Autora





Entre las conclusiones más importantes de esta investigación se debe recalcar la importancia de la incorporación de riesgos dentro de los planes de ordenamiento urbano de las ciudades, no sólo a nivel de ciudades intermedias, que es el objeto de esta investigación, sino todas las ciudades. La complementación sobre todo de zonificación de riesgos -amenaza y vulnerabilidad- en los planes de ordenamiento urbano ayuda a tomar decisiones en relación con el uso y ocupación del suelo, priorización del destino del presupuesto asignado, busca mitigar consecuencias ante desastres de diferentes naturaleza, y el trabajo en conjunto desde los distintos entes administrativos aminora las secuelas, la prevención es siempre la mejor política y la mejor decisión; "Gracias a la implementación del Plan de Gestión de Riesgos, Ecuador ha logrado no solo evitar desastres mayores, como inundaciones, sino que ha conseguido ahorrar 9,5 dólares por cada dólar invertido en prevención." (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017).

Desde la creación de la Secretaría de Gestión de Riesgos, como ente rector de la regulación de riesgos en el país se han logrado muchas metas previstas, sin embargo, quedan muchas por cumplir. Se ha conseguido salir adelante ante desastres suscitados en los últimos años, pero aún existe la pregunta de que podrá suceder en un futuro, si la incorporación de los riesgos en la planificación aún no ha llegado a cumplir sus metas señaladas en la legislación revisada en este trabajo. Existen disposiciones transitorias que están por cumplirse, y sin embargo los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales no las han cumplido a cabalidad con ellas, siendo estas de obligatorio cumplimiento, promoviendo generar un diagnóstico confiable para poder conformar una propuesta de planificación con base sólida.

Analizadas las metodologías existentes se evidencia que se da gran énfasis a la escala territorial, dejando en un segundo plano las áreas urbanas; resulta contradictorio que, si la ciudad es donde el mayor porcentaje de población se encuentra albergada, el control de los riesgos se aplique a grandes escalas, ubicando muchas veces a las ciudades como un punto en un mapa. Entendiendo que la naturaleza de los riesgos discrepa en comparación entre ciudad y territorio, se buscó complementación con un equipo multidisciplinario, con experiencia en la materia y que enriquezca el trabajo aquí descrito, posibilitando obtener mejores resultados, conclusiones y aplicabilidad de la metodología.



Durante la formulación de la metodología se consideraron varias condicionantes, entre ellos, la capacidad de los factores de ser mapeado/cartografiado, la disponibilidad de información, la escala a la que se encuentra esta, la capacidad y alcance de los diferentes municipios que cumplen con las características descritas (ciudad intermedia de la Sierra del Ecuador), concluyendo que, existe falta de información, y la que existe no se adecúa a las necesidades de escala exigida para trabajar a nivel de ciudad, reconociendo que para cumplir con los requerimientos mínimos dentro de ciudad se debería trabajar por lo menos a una escala 1:5 000, con las consideraciones del caso dependiente de la naturaleza de cada variable. En vista de que el manejo de información geográfica es nuevo para los establecimientos públicos, los datos disponibles, previamente validados y revisados por las instituciones rectoras son muy limitados, dificultando la implementación de nuevas tecnologías para poner a disponibilidad del público en general.

Para la aplicación de la metodología generada en la ciudad de Cuenca, reconociendo que el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de la ciudad, cuenta con ventaja en comparación a otros municipios en cuanto al manejo de información geográfica, disponibilidad de recursos destinados al manejo de datos espaciales y pionero en implementación de políticas de planificación urbano, se ha constatado algunos vacíos en cuanto a la información necesaria sugerida en el presente estudio, por lo que para posibilitar la aplicación y validación de la metodología para definir zonas de riesgo en ciudades intermedias de la Sierra del Ecuador se ha buscado

complementación con instituciones privadas, con el fin de alcanzar una mejor definición en algunos sectores de la ciudad y obtener una escala más adecuada que se ajuste al área urbana. Asimismo, en el desarrollo del estudio se realiza una priorización de inversión de presupuesto municipal para gestión de información influyente en riesgos, confirmando nuevamente que se deben priorizar los siguientes factores de amenaza: intensidades de lluvia, pendientes topográficas y microzonificación sísmica, las cuales se explican a detalle en el desarrollo metodológico del estudio; como factores vulnerables no se han resuelto prioridades ya que existe el supuesto que se obtienen en base a los diagnósticos de los planes de ordenamiento urbano de cada una de las ciudades.

La metodología aquí lograda ha alcanzado a reducir los recursos necesarios para obtener productos valiosos, se ha conseguido obtener resultados comprobables, veraces, fácilmente actualizables, en menor tiempo y con mayor eficacia. La metodología se explica fácilmente a través del modelo lógico de proceso, el cual permite el entendimiento a cualquier persona, sin importar sus conocimientos previos de geoprocésamiento de información, riesgos, ciudad y/o características geológicas del suelo e igualmente importante el modelo físico de geoprocésamiento ya que permite replicar los datos fácilmente en otro sistema de información geográfica, permitiendo una difusión entre entes gubernamentales y que sienta un punto de partida para el análisis de los riesgos dentro del perímetro urbano. Los resultados que se obtienen provienen de información válida y facilita su uso para distintas finalidades.



En el ámbito de la planificación es una valiosa contribución para definir determinantes en los planes de ordenamiento tanto urbanos como de detalle, es de fácil entendimiento para profesionales de los distintos campos por su naturaleza gráfica por lo que no sólo enriquece la planificación sino puede ser útil para entidades públicas y privadas, además que permite la socialización con personas que carezcan de conocimientos técnicos, difundir un mapa y lograr que personas sin instrucción previa sobre riesgos puedan entender el territorio es mucho más enriquecedor y fácil de comprender que un documento escrito con contenido técnico, y mucho más sencillo de comunicar. El resultado es un recurso visual valioso que inclusive puede ser incorporado en la educación desde temprana edad para crear pertenencia y así en la consciencia de la colectividad los cimientos para la observancia y ejecución de los planes de ordenamiento de los diferentes niveles de gobierno.

Por todo lo anterior, el proyecto de investigación deja varias opciones de estudios futuros; dentro de estas líneas de análisis se encuentran: estudio de la generación de mapas temáticos de zonas de riesgo en ciudades intermedias de la Costa del Ecuador a través de herramientas de geoprocésamiento, análisis de los resultados de previas aplicaciones de metodologías para definir zonas de riesgo en ciudades del Ecuador. Estos lineamientos sugeridos servirán de aporte para posteriores estudios de impacto de incorporación de riesgos -amenaza y vulnerabilidad- en la planificación urbana del Ecuador.



Bibliografía

- Abril, A. L. (2011). *Estudio e implementación de un modelo para la zonificación de áreas susceptibles a deslizamiento mediante el uso de sistemas de información geográfica: caso de estudio sector Quimsacocha*.
- Aguilar, C., Verence, S., Morejón, C., y Javier, F. (2017). *Análisis del peligro por fenómenos de remoción en masa en los taludes de un tramo de la quebrada Shanshayacu, zona Quitumbe, Distrito Metropolitano de Quito*.
- Alcaldía de Cuenca. (2018). *Generalidades del destino*. Cuenca, Ecuador. Obtenido de <http://cuencaecuador.com.ec/>.
- American Planning Association. (2017). *Geología, Suelos y Peligros Naturales*. Obtenido de <https://www.planning.org/planificacion/2/2.htm>
- Asamblea Constituyente, E. A. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Montecristi.
- Asamblea Nacional. (2016). *Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y gestión de Suelo*. Quito.
- Barrantes Castillo, G., Barrantes Sotela, O., y Núñez Roman, O. (2011). *Efectividad de la metodología Mora-Vahrson modificada en el caso de los deslizamientos provocados por el terremoto de Cinchona, Costa Rica*. Revista Geográfica de América Central.
- Batallas Gómez, H. (2013). *El actual modelo de descentralización en el Ecuador: un desafío para los gobiernos autónomos descentralizados*. Revista de Derecho UASB, 20, 18.
- BBC Mundo. (20 de abril de 2016). <http://www.bbc.com/>. Obtenido de http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160416_ecuador_terremoto_magnitud_colombia_peru_bm
- Bellet, C., y Llop, J. M. (2004). *Miradas a otros espacios urbanos: las ciudades intermedias*. Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales, 2004, vol. 8, núm. 165, p. 1-28.
- Capdevila, J. (2004). *Infraestructura de Datos Espaciales (IDE). Definición y desarrollo actual en España*. Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales, 8.
- Cárdenas, A., y Francisco, K. (2006). *Ensayo metodológico para la evaluación y zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa, Cuenca de Loja*.



- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (1998). *Ciudades intermedias de América Latina y el Caribe: propuestas para la gestión urbana*.
- Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas. (2010). *Finanzas Públicas*.
- Confederación de empresarios de Andalucía. (2018). *Sistemas de Información Geográfica, tipos y aplicaciones empresariales*. línea].
Obtenido de <http://sig.cea.es/SIG>
- Congreso Nacional. (2004). *Ley Orgánica de Transparencia y Acceso a la Información Pública*.
- Cordero, F. (2016). Descentralización y desequilibrios territoriales: revisión preliminar. *Descentralización y desequilibrios territoriales X Simposio Nacional de Desarrollo Urbano y Planificación Territorial. Desequilibrios Territoriales y Gestión Local*.
- Ecuavisa. (2014). *Autoridades de Guayas coordinan medidas preventivas contra 'El Niño'*. Publicado el 10 de junio del 2014. Obtenido de <http://www.ecuavisa.com/articulo/noticias/nacional/66829-autoridades-guayas-coordinan-medidas-preventivas-contra-nino>
- EIRD. (19 de marzo de 2018). <http://www.eird.org>. Obtenido de <http://www.eird.org/esp/terminologia-esp.htm>
- El Comercio . (2018). *dicionimpresa.elcomercio.com*. Obtenido de http://edicionimpresa.elcomercio.com/es/xml_noticia/5710552
- El Comercio. (2 de agosto de 2011). <http://www.elcomercio.com>.
Obtenido de <http://www.elcomercio.com/actualidad/quito/peligro-volcanico-busque-informacion-util.html>
- El Productor. (12 de noviembre de 2017). <https://elproductor.com>.
Obtenido de <https://elproductor.com/noticias/ecuador-alerta-naranja-por-inundaciones-y-deslizamientos-en-cuenca/>
- El Universo. (2017). *27 muertos y 127.500 afectados por inundaciones en Ecuador, según SGR. Ecuador*. Publicado el 12 de abril del 2017.
Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2017/04/12/nota/6135256/27-muertos-127500afectados-inundaciones-ecuador-segun-sgr>
- Environmental Systems Research Institute. (2016-2017). *Esri: Arcgis for Desktop*. Obtenido de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/main/analyze/geoprocessing-tools.htm>
- Environmental Systems Research Institute. (2016-2017). *Esri: Geoprocesamiento - informática con datos geográficos*. Obtenido de <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000004000000.htm>
- Environmental Systems Research Institute. (2018). *Superposición ponderada*. (Estados Unidos). Obtenido de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/weighted-overlay.htm>



- Food and Agricultura Organization of the United Nations. (2018). Un país con elevada vulnerabilidad. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/013/i1255b/i1255b02.pdf>
- Foros Ecuador. (2018). *Ubicación Geográfica de Cuenca*. Obtenido de <http://www.forosecuador.ec/forum/ecuador/educaci%C3%B3n-y-ciencia/124159-ubicaci%C3%B3n-geogr%C3%A1fica-de-cuenca-ecuador-%C2%BFcu%C3%A1-es-su>
- Fundación Venezolana de investigaciones sismológicas. (2018). *Amenaza Sísmica*. Venezuela. Obtenido de <http://www.funvisis.gob.ve/amenaza.php>.
- García T. (13 de mayo, 2016). *Una mirada hacia las ciudades intermedias*. El país. p. 1. Obtenido de https://elpais.com/elpais/2016/05/13/seres_urbanos/1463119200_146311.html
- Geogra. (2017). <http://www.geogra.uah.es>. Obtenido de http://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/AnalisisTerreno/DEMModule/DEM_T_SI.htm
- Geología Ambiental. (2017). FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA. Obtenido de <https://mayrambiental.es.tl/FEN%D3MENOS-DE-REMOCI%D3N-EN-MASA.htm>
- IBM Knowledge Center. (2018). *Modelos lógicos de datos*. Obtenido de https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SS62YD_4.1.1/com.ibm.datatools.logical.ui.doc/topics/clogmod.html
- Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2017). <http://www.igepn.edu.ec>. Obtenido de <http://www.igepn.edu.ec/mapas/mapa-volcan-cayambe>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *Sistema de Información Geográfica*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/internet/sistemainformassistemainform.pdf>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2015). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*. Quito, Ecuador.
- La Hora. (07 de septiembre de 2015). <https://lahora.com.ec/>. Obtenido de <https://lahora.com.ec/noticia/1101860870/en-rumic3b1ahui-ocho-de-23-albergues-estc3a1n-listos>
- Laboratorio Unidad Pacífico Sur CIESAS . (2017). *SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA* . Obtenido de <https://langleruben.wordpress.com/%C2%BFque-es-un-sig/>
- Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial Uso y Gestión del Suelo. Registro oficial 790. Quito, Ecuador. 5 de Julio del 2016.
- Ley Orgánica de Transparencia y Acceso a la Información Pública. Registro oficial suplemento 337. Quito, Ecuador. 18 de mayo del 2004.
- Medina, D., Montilla N., Monsalve, Z., y Pimstein, L. (2012). *Mapa de unidades litológicas superficiales como contribución al proyecto urbanístico 'Ciudad Camino de los Indios*. Revista Geográfica Venezolana, 53(1).



- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). *Norma ecuatoriana de construcción: Peligro sísmico, diseño sismo resistente*. Quito, Ecuador.
- Ministerio de Finanzas. (2015). <http://www.finanzas.gob.ec/>. Obtenido de <http://www.finanzas.gob.ec/>
- Mora, R., Mora, S., y Vahrson, W. (1992). *Macrozonificación de la amenaza de deslizamientos y resultados obtenidos en el área del valle central de Costa Rica*. Macrozonificación de la amenaza de deslizamientos y resultados obtenidos en el área del valle central de Costa Rica, 1(286).
- Mora, R., Vahrson, W., y Mora, S. (1992). *Mapa de Amenaza de Deslizamientos, Valle Central, Costa Rica*. Centro de Coordinación para la prevención de desastres naturales en América Central .
- Naranjo, R., y Omar, M. (2016). *Análisis comparativo entre método de Brabb y Brabb modificado, para fenómenos de remoción en masa en la cuenca del río Chinambí del cantón Mira*.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). *Norma Ecuatoriana de Construcción*.
- Olaya, V. (2012). *Sistemas de Información Geográfica Tomo I*. Obtenido de <http://www.bubok.es/libros/191920/Sistemas-de-Informacion-Geografica>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). *Instrumentos del planteamiento territorial*. Obtenido de <http://www.fao.org/in-action/territorios-inteligentes/componentes/ordenamiento-territorial/instrumentos-planteamiento-territorial/es/>
- Organization of American States. (2017). Obtenido de <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea57s/ch005.htm>
- Red Sismológica Nacional. (2015). *Glosario de Geología. San José, Costa Rica*. Obtenido de http://rsn.ucr.ac.cr/images/Noticias/2016_07/GlosarioRSN.pdf
- RODRIGUEZ M. (2016). *Análisis comparativo entre método de Brabb y Brabb modificado, para fenómenos de remoción en masa en la cuenca del río Chinambí del cantón Mira*. (tesis de pregrado). Universidad central del Ecuador. Quito – Ecuador.
- Saaty, T. L. (1990). *How to make a decision: the analytic hierarchy process*. European journal of operational research.
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2017). *Objetivos*. Ecuador. Obtenido de <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/objetivos/>.
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2017), *Proyecto de Ley Orgánica del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos*. Quito, Ecuador.
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2017). *Propuesta metodológica. Análisis de Amenaza ante Movimientos en Masa Versión 1.0*. Código SGR-DAR-MM01.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017 - 2021 - Toda una Vida*. Quito, Ecuador.



Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017*. Quito, Ecuador. Obtenido de: <http://www.buenvivir.gob.ec/>

SIG MÉXICO. (2017). Sistema de información geográfica. *Soluciones Geográficas de México SC*. Obtenido de <http://www.sigmexico.com.mx>.

Solís, P. (1997). *Cambios en el crecimiento de la población urbana y de la población rural*. DemoS.

Telecentro Regional en Tecnologías Espaciales. (2017). *Fundamentos de Sistemas de Información Geográfica*. Obtenido de http://geoservice.igac.gov.co/contenidos_telecentro/fundamentos_sig/cursos/sem_2/uni2/index.php?id=2.

United Nations Secretariat. (2002). *World Urbanization Prospects. The 2001 Revision. Data Tables and Highlights*. Department of Economic and Social Affairs.

Universidad de Costa Rica. (2018). *Laboratorio de Ingeniería Sísmica*. Obtenido de http://www.lis.ucr.ac.cr/mapas/2018-03-03-17:26:08/ef_sitio.php

USACH N. & GARRIDO R. *Globalización y ciudades en América Latina. ¿Es el turno de las ciudades intermedias en la Argentina?*. Scielo. Santa Fé, Argentina: Universidad de Alcalá, diciembre de 2009, núm. 13.

Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*.

Vega, V. (2018). Obtenido de <http://almez.pntic.mec.es/~jrem0000/dpbg/1bch/tema2/cont-oceano>

Vidal, García, Navarro y Valverde. (2017). *Microzonificación Sísmica y Efectos de Sitio*. Obtenido de http://masteres.ugr.es/geomet/pages/info_academica/asig/zonifica

Vivanco, L. et al. (2017). *Plataforma del Laboratorio Virtual de Ciudad y Territorio, una buena práctica para garantizar el uso y acceso a la información territorial*. I Encuentro Nacional de Ciudades Inteligentes en el Ecuador.



Índice de figuras

Figura 1.1.1. Evolución de la población urbana según dimensión del núcleo	19	Figura 2.1.2. Esquema de propuesta metodológica: Análisis de amenaza por inundación.	45
Figura 1.1.2. Ciudades en Latinoamérica según población	21	Figura 2.1.3. Variables para el mapa de amenaza por movimientos de masa	47
Figura 1.1.3. Jerarquía de los asentamientos humanos	23	Figura 2.1.4. Determinación de los principales lineamientos estructurales	48
Figura 1.2.1. Principales desastres naturales en el Ecuador, 1982–2008	25	Figura 2.1.5. Determinación de índices de estabilidad	49
Figura 1.2.2. Línea de tiempo: legislación información	26-27	Figura 2.1.6. Raster generados del proceso cartográfico realizado a cada una de las variables	52
Figura 1.2.3. Inversión del estado central a través de la Secretaría de Gestión de Riesgos	28	Figura 2.2.1. Diagrama de flujo del Método de Brabb utilizando un SIG	57
Figura 1.3.1. Tipos de información geográfica: vectorial y raster	34	Figura 2.2.2. Aplicación Método de Brabb en sector Chinambi – Ecuador	58
Figura 1.3.2. Visualizador de Riesgos Naturales, México. Sistema Web con información de riesgos naturales como Huracanes, Inundaciones, Sismos.	36	Figura 2.2.3. Aplicación Método de Brabb modificado en sector Chinambi – Ecuador	59
		Figura 2.3.1. Ejemplo de la metodología de Mora – Vahrson aplicada en Nicaragua	68
		Figura 3.1.1. Convergencia continental – oceánica	80
		Figura 3.2.1. Mapa de clasificación de zonas del Ecuador, según sismo de diseño	85
		Figura 3.2.2. Faja pluviográfica	86



Figura 3.2.3. Tipo de fenómeno de remoción de masas: reptación	87	Figura 4.1.4. Mapa de factor: fallas geológicas – sismo de Diseño. Cuenca	123
Figura 3.2.4. Tipo de fenómeno de remoción de masas: deslizamiento	88	Figura 4.1.5. Mapa de factor: intensidad de lluvias. Cuenca.	125
Figura 3.2.5. Tipo de fenómeno de remoción de masas: desprendimiento	88	Figura 4.1.6. Mapa de factor: inventario de fenómenos de remoción de masas. Cuenca	127
Figura 3.2.6. Diagrama para entender el efecto de sitio	90	Figura 4.1.7. Mapa de factor: microzonificación sísmica – efecto de sitio. Cuenca.	129
Figura 3.2.7. Geoportal, Amenazas volcánicas en el Ecuador	91	Figura 4.1.8. Mapa de factor: pendientes. Cuenca.	131
Figura 3.2.8. Unidades geológicas del Ecuador	92	Figura 4.1.9. Mapa de factor: unidades litológicas. Cuenca	133
Figura 3.2.9. Consecuencias de la deforestación	93	Figura 4.1.10. Mapa de factor: altura de edificación – características de edificación. Cuenca	135
Figura 3.2.10. Distribución de la población urbana en el Ecuador, por provincia	94	Figura 4.1.11. Mapa de factor: densidad poblacional. Cuenca	137
Figura 3.3.1. Esquema de variables de riesgo: amenaza – vulnerabilidad	100	Figura 4.1.12. Mapa de factor: infraestructura de servicio de agua. Cuenca	139
Figura 3.3.2. Árbol de decisión: presupuesto municipal	103	Figura 4.1.13. Mapa de factor: equipamientos urbanos vulnerables	141
Figura 3.3.3. Síntesis de metodología: variables y valores	106-107	Figura 4.1.14. Mapa de factor: uso de suelo. Cuenca.	143
Figura 4.1.1. Visor online Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cuenca	117	Figura 4.2.1. Mapa en ArcGis: mapa de valoración según pendientes	146
Figura 4.1.2. Mapa de factor: cobertura vegetal. Cuenca	119	Figura 4.2.2. Mapa de ArcGis: mapa de valoración según microzonificación sísmica.	147
Figura 4.1.3. Mapa de factor: cuerpos de agua. Cuenca	121		



Figura 4.2.3. Mapa de ArcGis: mapa de valoración según fallas geológicas-sismo de diseño	148	Figura 4.2.16. Modelo físico de geoprocesos de metodología propuesta	159
Figura 4.2.4. Dirección en ArcToolbox de la herramienta Feature to raster	149	Figura 4.3.1. Mapa temático: amenaza geológica. Cuenca	163
Figura 4.2.5. Herramienta Feature to raster, input	150	Figura 4.3.2. Mapa temático: amenaza sísmica. Cuenca	165
Figura 4.2.6. Herramienta Featura to raster, output	150	Figura 4.3.3. Mapa temático: amenaza hidrológica. Cuenca	167
Figura 4.2.7. Mapa de ArcGis: rango de pendientes raster	151	Figura 4.3.4. Mapa temático: amenaza. Cuenca	169
Figura 4.2.8. Mapa de ArcGis: microzonificación sísmica raster	152	Figura 4.3.5. Mapa temático: vulnerabilidad. Cuenca	171
Figura 4.2.9. Mapa en ArcGis: fallas geológicas – sismo de diseño raster	153	Figura 4.3.6. Mapa temático: riesgo. Cuenca	173
Figura 4.2.10. Esquema de funcionamiento herramienta Weighted Overlay	154		
Figura 4.2.11. Dirección en Arc Toolbox de la herramienta Weighted Overlay	154		
Figura 4.2.12. Herramienta Weighted Overlay, input	155		
Figura 4.2.13. Herramienta Weighted Overlay, asignación de valores	155		
Figura 4.2.14. Mapa en ArcGis: resultado amenaza sísmica raster	156		
Figura 4.2.15. Modelo lógico de geoprocesos de metodología propuesta	158		



Índice de tablas

Tabla 1.2.1. Cantones según porcentaje de dependencia de transferencias estatales, 2010	31
Tabla 2.1.1. Asignación de ponderación por rango de pendientes	48
Tabla 2.1.2. Asignación de ponderación por textura de suelo	50
Tabla 2.1.3. Asignación de ponderación por profundidad efectiva	50
Tabla 2.1.4. Niveles de amenaza ante movimientos en masa	53
Tabla 2.3.1. Valoración de parámetro de susceptibilidad litológica	63
Tabla 2.3.2. Valoración de parámetro de humedad del suelo del terreno	63
Tabla 2.3.3. Valoración de parámetro de humedad	64
Tabla 2.3.4. Valoración de parámetro de pendientes del terreno	64
Tabla 2.3.5. Valoración de parámetro de precipitación	65
Tabla 2.3.6. Valoración de parámetro de sismicidad	65
Tabla 2.3.7. Grado de amenaza de acuerdo con el potencial de susceptibilidad	66
Tabla 2.3.8. Clasificación de la susceptibilidad a deslizamientos	66
Tabla 2.4.1. Síntesis de metodologías	73
Tabla 3.1.1. Clasificación de variables según capacidad de ser mapeado	81
Tabla 3.1.2. Clasificación de factores según su naturaleza – amenaza y vulnerabilidad	82
Tabla 3.2.1. Clasificación de zonas del Ecuador, según sismo de diseño	84
Tabla 3.3.1. Ponderación: amenaza geológica	100
Tabla 3.3.2. Ponderación: amenaza sísmica	101
Tabla 3.3.3. Ponderación: amenaza hidrológica	101
Tabla 3.3.4. Ponderación: amenaza volcánica	101
Tabla 3.3.5. Ponderación: vulnerabilidad	101



Tabla 3.3.6. Ponderación general y disponibilidad: amenazas	102	Tabla 4.1.1. Resultados estación M0426 Cuenca Ricaurte	124
Tabla 3.3.7. Ponderación general y disponibilidad: vulnerabilidad	102	Tabla 4.1.2. Resultados estación M0067 Cuenca Aeropuerto	124
Tabla 3.3.8. Ponderación: alturas de edificación	103		
Tabla 3.3.9. Ponderación: cuerpos de agua	103		
Tabla 3.3.10. Ponderación: densidad poblacional	103		
Tabla 3.3.11. Ponderación: equipamiento urbano vulnerables	104		
Tabla 3.3.12. Ponderación: infraestructura para servicios de agua	104		
Tabla 3.3.13. Ponderación: fallas geológicas – sismo de diseño	104		
Tabla 3.3.14. Ponderación: intensidad de lluvias	104		
Tabla 3.3.15. Ponderación: inventario fenómenos de remoción de masas	104		
Tabla 3.3.16. Ponderación: microzonificación sísmica – efecto de sitio	104		
Tabla 3.3.17. Ponderación: peligro volcánico	105		
Tabla 3.3.18. Ponderación: uso de suelo	105		
Tabla 3.3.19. Ponderación: cobertura vegetal	105		
Tabla 3.4.1. Aplicabilidad de resultados en diferentes etapas de plan	112		



Índice de fotografías

Fotografía 1.2.1. Afectación de edificación: terremoto 16 de abril 2016, Pedernales	29
Fotografía 2.1.1. Impacto de inundación dentro del límite urbano	44
Fotografía 3.2.1. Desborde de río Tomebamba dentro del límite urbano, Cuenca.	84
Fotografía 3.2.2. Inundaciones en el Ecuador	95
Fotografía 3.2.3. Unidad educativa La inmaculada, albergue. Cotopaxi	96