



ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL
MEDIO AMBIENTE**

***“APLICACIÓN DE UN SISTEMA HAZUS (SELENA) PARA LA
VALORACION DE PELIGROSIDAD POR SISMISIDAD EN LOS
SECTORES DE MAYOR DEFORMACION TECTONICA DEL DISTRITO
METROPOLITANO DE QUITO”.***

PAMELA EVELIN SANTANDER VASQUEZ

SANGOLQUI- ECUADOR

ENERO 2012

CERTIFICACIÓN

ING. PABLO PEREZ

DIRECTOR

ING. ANITA HARO

CODIRECTORA

RESUMEN

Los efectos devastadores que tienen los fenómenos naturales sobre los edificios, las infraestructuras y la población en zonas urbanas, son una de las manifestaciones más impactantes a las que el hombre debe hacer frente desde hace siglos. Hablamos de riesgo como potencial de pérdida, de forma que el riesgo natural se define mediante la probabilidad de pérdida por causa de fenómenos naturales. La evaluación del riesgo es un primer paso para su prevención, mitigación y gestión. El principal objetivo de este trabajo se orienta hacia la evaluación del riesgo sísmico en El Distrito Metropolitano de Quito, una ciudad donde el peligro sísmico, entendido como la probabilidad de que ocurran sismos con capacidad destructora, es posible.

Cuando el grado de peligrosidad se relaciona con los niveles de vulnerabilidad (física, social, económica, ambiental), sus consecuencias se reflejan en un territorio susceptible y con diferentes grados de exposición a potenciales desastres.

El desarrollo y, sobre todo, la aplicación de diferentes metodologías de modelado del riesgo sísmico deben adaptarse, en cada caso, al nivel de información disponible; dicha información varía en gran manera según las regiones, y suele estar directamente relacionada con el nivel de amenaza sísmica y el desarrollo socioeconómico de la zona de estudio. Los Sistemas de Información Geográfica constituyen una avanzada herramienta de ayuda en la toma de decisiones, que debe emplearse en los estudios de riesgo, especialmente en la creación de escenarios de riesgo en zonas urbanas, en las cuales se hace imprescindible la gestión de una gran cantidad de información espacial y temática.

SUMMARY

The devastating effect of natural phenomena on buildings, infrastructure and population in urban areas, are one of the most striking manifestations of the man is faced for centuries. We discussed as a potential risk of loss, so that the natural hazard is defined by the probability of loss due to natural phenomena. Risk assessment is a first step for prevention, mitigation and management. The main objective of this paper is oriented towards the assessment of seismic hazard in “Distrito Metropolitano de Quito”, a city where the seismic hazard, defined as the probability of earthquakes with destructive power, is possible.

When the degree of danger is related to levels of vulnerability (physical, social, economic, environmental), its consequences are reflected in a region susceptible and with different degrees of exposure to potential disasters.

Development and, above all, the application of different methodologies for seismic risk modeling should be adapted in each case, the level of information available, the information varies greatly by region, and is usually directly related to the level of threat seismic and socioeconomic development of the study area. Geographic Information Systems are an advanced tool to aid in decision making, to be used in studies of risk, especially in creating risk scenarios in urban areas, where it is essential to managing a large number spatial and thematic information.

A mi Mama y Hermana

AGRADECIMIENTOS

Gracias Mama, por tu sacrificio, paciencia y apoyo incondicional....

Gracias Nãña, por confiar...por creer en mí...

Gracias Normi, por extenderme tu mano en los momentos precisos....

Gracias Ing. Jacqui, por esas pequeñas grandes cosas....

Gracias Ing. Pérez, por su ayuda...su aliento....

Gracias Ing. Robayo, por recordarme que lo imposible es posible....

Gracias Ing. Cando, por las oportunidades....

INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	12
1.1 ANTECEDENTES.....	12
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	15
1.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	15
1.5 METAS.....	16
2. GENERALIDADES: DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO	17
2.1 UBICACIÓN.-	17
2.2 TIPOS DE SUELOS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.....	18
2.3 GEOLOGÍA	19
2.4 VULCANISMO	20
2.5 SISMICIDAD	20
2.6 PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA.....	25
2.7 RELLENOS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.....	27
2.8 ACUÍFEROS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO	29
3. METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR DEFORMACIONES GEOLÓGICAS EN EL DMQ	31
3.1 DEFORMACIONES	38
3.2 TÉCNICA DINSAR	41
3.2.1 FILOSOFÍA DEL PROGRAMA	41
3.3 METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE ZONAS DE SEGURIDAD A ESCALA 1:50.000 EN FUNCIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA E INUNDACIONES.....	44
CAPITULO IV	54
4. HAZUS- SELENA	54
4.1 FEMA'S METHODOLOGY FOR ESTIMATING POTENTIAL LOSSES FROM DISASTERS..	54
4.1.1 ARCHIVOS DE ENTRADA PARA EL ANÁLISIS PROBABILÍSTICO.....	61
4.1.2 ARCHIVOS DE ENTRADA PARA EL ANÁLISIS DETERMINÍSTICO.....	61

4.1.3	ARCHIVOS DE ENTRADA PARA EL ANÁLISIS EN TIEMPO REAL	61
4.2	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.....	62
4.3	RESULTADOS:	78
	BIBLIOGRAFIA	94

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Registro de Sismicidad en Quito</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 2. Cuadro metodologías utilizadas para determinar las zonas con mayor deformación sismo tectónico....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 3. Descripción de Estados de Daño</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 4. Descripción de los comandos que utiliza SELENA</i>	<i>58</i>

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Mapa Sísmico del Ecuador</i>	22
<i>Figura 2. Hundimiento Intercambiador del Trébol</i>	26
<i>Figura 3. Sismos registrados en todo el Distrito Metropolitano de Quito</i>	36
<i>Figura 4. Sismos registrados en un DEM</i>	37
<i>Figura 5. Zonas de mayor deformación sismo-tectónica</i>	38
<i>Figura 6. Zonas con mayor deformación sismo-tectónica (vectorial)</i>	39
<i>Figura 7. Corte 1 de la superficie del terreno</i>	40
<i>Figura 8. Corte 2 de la superficie del terreno</i>	40
<i>Figura 9. Imágenes radar 5A-20090517 (2009)</i>	42
<i>Figura 10. Imágenes mediante Interferometría radar del año 2006</i>	43
<i>Figura 11. Imágenes mediante Interferometría radar del año 2009</i>	43
<i>Figura 12. Metodología SNGR para mapas por movimientos en masa</i>	45
<i>Figura 13. Zonas delimitadas con mayor deformación</i>	49
<i>Figura 14. Zonas delimitadas con mayor deformación en mapa de amenazas</i>	49
<i>Figura 15. Zonas delimitadas con mayor deformación con el sistema de fallas del DMQ</i>	50
<i>Figura 16. Nororiente de Quito</i>	50
<i>Figura 17. Nororiente de Quito. Zona Ampliada.</i>	51
<i>Figura 18. Ilaló</i>	51
<i>Figura 19. Ilaló. Zona ampliada</i>	52
<i>Figura 20. Guagua Pichincha</i>	52
<i>Figura 21. Guagua Pichincha. Zona Ampliada.</i>	53
<i>Figura 22. Delimitación de la Zona de Estudio</i>	64
<i>Figura 23. Zonas con la respectiva poligonación en zonas deformables</i>	64
<i>Figura 24. Vista en 3D de la poligonación en zonas deformables</i>	65
<i>Figura 25. Ejemplo de la Base de Datos Utilizadas</i>	66
<i>Figura 26. Estructura del árbol lógico</i>	77
<i>Figura 27. Estimación de daño (leve, poco, mediano, extensivo y completo) para estructuras de Hormigón armado para los 15 polígonos</i>	78
<i>Figura 28. Estimación de daño (ninguno, leve, mediano, extensivo y completo) para estructuras de Hormigón armado para los 15 polígonos</i>	79
<i>Figura 29. Estimación de daño (ninguno, leve, mediano, extensivo y completo) para estructuras de Hormigón armado para los 15 polígonos</i>	80
<i>Figura 30. Estimación de daño (ninguno, leve, mediano, extensivo y completo) para estructuras de Hormigón armado para los 15 polígonos</i>	81
<i>Figura 31. Estimación de daño (ninguno, leve, mediano, extensivo y completo) para estructuras de Hormigón armado para los 15 polígonos.</i>	82

<i>Figura 32. Estimación de daño (ninguno, leve, mediano, extensivo y completo) para estructuras de Hormigón armado para los 15 polígonos</i>	84
<i>Figura 33. Estimación de daño (ninguno, leve, mediano, extensivo y completo) para estructuras de Hormigón armado para los 15 polígonos</i>	85
<i>Figura 34. Estimación de daño (ninguno, leve, mediano, extensivo y completo) para estructuras de Hormigón armado para los 15 polígonos</i>	87
<i>Figura 35. Zonas con estado de daño moderado para estructuras de hormigón armado.</i>	88
<i>Figura 36. Zona Lumbisi.</i>	89
<i>Figura 37. Zona Lumbisi. Vista Norte-Sur</i>	90
<i>Figura 38. Zona Cumbayá.</i>	91
<i>Figura 39. Zona Cumbayá. Vista Ampliada.</i>	92

CAPÍTULO I

1.1 ANTECEDENTES

El Distrito Metropolitano de Quito se ubica sobre un área susceptible a sismos o terremotos debido a la presencia de cuatro fallas tectónicas y a las consecuencias de las erupciones volcánicas, pues está rodeado por veinte volcanes, cuatro de ellos en actividad.

Según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, el Distrito Metropolitano de Quito, se encuentra en una de las zonas de mayor peligro sísmico y el advenimiento de un sismo en la capital, que cuenta con una población de 2.239.191 habitantes, muchas edificaciones, equipamientos y obras viales, podría causar disfuncionamientos socioeconómicos muy graves en la aglomeración capitalina.

Existen diferentes metodologías para estimar los daños que podría ocurrir ante un evento sísmico y mediante distribución de la actividad sísmica ha sido posible identificar aquellos lugares en donde la probabilidad de un evento de gran magnitud es mayor. Esto, sin embargo, debe interpretarse como un estimado y no como una garantía absoluta sobre la ocurrencia de un suceso en un área específica.

Cuando el grado de peligrosidad se relaciona con los niveles de vulnerabilidad (física, social, económica, ambiental), sus consecuencias se reflejan en un territorio

susceptible y con diferentes grados de exposición a potenciales desastres. El conocer el territorio, y sus diferentes grados de exposición ante amenazas de origen natural, no solo es conocer los lugares y jurisdicciones potenciales de desastres, sino las dinámicas y procesos sociales que en ellos se desenvuelve. De esta manera, la amenaza puede afectar de diversas formas al territorio, especialmente a determinados procesos socio-económicos ocasionando retrocesos considerables en su normal desarrollo.

Por lo tanto la base para la reducción de la vulnerabilidad física o estructural de los terremotos está en las buenas prácticas de diseño y construcción, y en el cumplimiento de normas sismo-resistentes.

Es así que, el escenario de daños por terremotos en Quito ha constituido, más allá de una evaluación de los potenciales daños a la ciudad y de su estado de preparación para este tipo de catástrofes, un diagnóstico de la información técnica disponible para poder realizar estudios de riesgo sísmico en el país. De dicho diagnóstico se desprende que las incertidumbres son aun muy grandes y que es fundamental un esfuerzo sostenido para recabar datos relativos a la sismicidad, a suelos y estructuras. Por otro lado, esta información debe complementarse con estudios sociológicos y económicos necesarios para la estimación de riesgo.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El abordar el tema de los riesgos en el Ecuador no es una tarea fácil cuando se considera la diversidad de amenazas y vulnerabilidades a las que se encuentra sujeto nuestro territorio Nacional. En efecto, existe una gran variedad de amenazas de origen natural (sismos, inundaciones, deslizamientos, peligros volcánicos, tsunamis y sequías) productos de las condiciones geográficas, morfológicas, geológicas, hídricas y climáticas otorgadas por su localización (un borde continental activo denominado “Cinturón de Fuego del Pacífico”, la influencia del proceso de subducción de la Placa Oceánica de Nazca bajo la Placa Sudamericana que genera un complejo sistema tectónico representado por fallas geológicas agravando el escenario potencial de eventos sísmicos y volcánicos).(SENPLADES-CAF,2002).

Por el hecho de ser un país de alto riesgo sísmico, Ecuador está obligado a cumplir con normativas, la que incluye realizar una zonificación sísmica del territorio basada en una mejor distribución geográfica, en la cual los técnicos identifiquen las zonas de mayor y menor riesgo frente a las diversas amenazas de origen natural, lo cual permitirá disminuir la vulnerabilidad a la que estamos expuestos.

La valoración de peligrosidad ante un evento sísmico en el Distrito Metropolitano de Quito con la ayuda de la metodología Hazus, ayudaría significativamente a disminuir las vulnerabilidades de la ciudad con planes específicos para la atención a los desastres, si estos llegan a producirse y crear una cultura de prevención.

La información para este tipo de estudios es muy amplia, cuenta con datos de vulnerabilidad sísmica, geológica, topográfica, catastral y en base a esto ya se ha realizado proyectos para el manejo del riesgo sísmico en Quito, con diversas instituciones locales e internacionales. Por lo tanto, el presente estudio tiene por objeto de evaluar y presentar la vulnerabilidad o el nivel de peligrosidad en el área metropolitana y su probabilidad de daño en caso de sismo con una metodología que reúne variables antes no abordadas.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Aplicación de un Sistema Hazus (Selena) para la valoración de peligrosidad por sismicidad en los Sectores de Mayor deformación tectónica del Distrito Metropolitano De Quito.

1.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Aplicar metodologías para determinar zonas de mayor deformación tectónica en el Distrito Metropolitano de Quito.
- Modelar las deformaciones relacionadas a procesos sismo tectónico volcánico.
- Determinar las zonas más vulnerables a procesos sismológicos en el Distrito Metropolitano de Quito.
- Usar metodología HAZUS (Selena) para las zonas con mayor deformación tectónica del Distrito Metropolitano de Quito.

- Determinar los valores de peligrosidad ante un sismo en las zonas más vulnerables.

1.5 METAS

- Generar un modelo digital usando interferometría DINSAR de deformaciones sismo tectónico del DMQ.
- Generar un mapa 1:50.000 de zonificación de las áreas con mayor deformación sismo tectónica en el DMQ
- Integrar la base de datos georeferenciada y la metodología en el análisis de zonas de mayor deformación geológica en Distrito Metropolitano de Quito, para establecer escenarios para un sismo específico dada su magnitud, profundidad y ubicación del epicentro.
- Registrar los datos de los cálculos de los daños y pérdidas potenciales estimadas que arroje la metodología de evaluación Hazus (Selena).

CAPITULO II

2. GENERALIDADES: DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

2.1 Ubicación.-

El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) se localiza en la Cordillera Occidental de los Andes septentrionales del Ecuador, abarcando un conjunto territorial de 422.802Has. Ubicadas entre los 500 y 4.790 m.s.n.m. Según las cifras del Censo de Población y Vivienda de 2010, el DMQ cuenta con 2.239.191 habitantes, lo que equivale aproximadamente a un 16% de la población del Ecuador (INEC, 2011).

Debido a la transformación que ha experimentado tanto en términos demográficos como en su base económica, el Distrito Metropolitano de Quito, se ha constituido en un centro de carácter macro regional, tanto en el contexto andino, como a nivel nacional y regional, ya que “mantiene fuertes enlaces de manera directa con otros cantones de la provincia de Pichincha, con las provincias de Cotopaxi, Imbabura, Carchi, Esmeraldas, Manabí, Napo, Sucumbíos y Orellana, y con el sur de Colombia” (MDMQ, 2006).

Además de ser la capital de la República del Ecuador, Quito se ha constituido en un centro de decisiones económicas, financieras y empresariales de carácter nacional y regional, centro turístico, cultural y educativo, y al mismo tiempo una importante región de producción y consumo de escala.

2.2 Tipos de suelos en el Distrito Metropolitano de Quito

Casi todos los suelos originales del área metropolitana son de origen volcánico. En las áreas periféricas localizadas en las escarpas occidentales de las cadenas montañosas de la zona, los suelos dominantes son francos y pseudo arenosos de textura fina. Estos suelos tienen una retención de humedad extremadamente alta, pero no se consideran adecuados para uso agrícola debido a su localización en áreas muy empinadas.

Las zonas agrícolas más importantes del área metropolitana están localizadas en Puenbo, Pifo, Yaruquí, Checa, Tumbaco, El Quinche, Amaguaña y Píntag. Predominan en estas áreas, los suelos volcánicos negros profundos con alguna presencia de limo y un contenido de arcilla menor al 30%. Se encuentran suelos similares en las zonas de Lloa y Quito Sur (Gangotena, 1990).

Los niveles de erosión son alarmantes en toda el área metropolitana. Las cuencas de los ríos y las quebradas están especialmente afectadas, al igual que los suelos piroclásticos arenosos en Calacalí, Calderón, San Antonio y Pomasqui. Bajo las laderas de la escarpa occidental existe una capa dura de Cangahua a menos de un metro de profundidad, que a veces se expone por la erosión causada por la perturbación humana (MDMQ, 1992).

En el Distrito Metropolitano de Quito, los suelos se distribuyen en ocho paisajes geomorfológicos que hacen referencia al relieve, superficies y algunas de las características ecológicas del territorio del DMQ. La ciudad de Quito y las poblaciones urbanas se asientan sobre valles y terrenos con irregularidad variable, en tanto que las áreas no urbanizables están localizadas en un espacio topográfico mucho más irregular ya que éste se conecta con las estribaciones de las cordilleras al oriente y occidente donde hay una presencia predominante de montañas. De hecho, éstas han incidido en las características geomorfológicas del Distrito que, al

estar asentada la ciudad en las faldas del volcán Pichincha, buena parte de su espacio estaba históricamente atravesado de quebradas, poseía sistemas lacustres ahora extintos y terrenos que conforme se aproximan al volcán o a elevaciones menores tales como el Panecillo, ganan en pendiente.

2.3 Geología

El Distrito Metropolitano de Quito cuenta con un relieve considerablemente heterogéneo, ejemplo de ello son las cuencas y valles interandinos y los relieves glaciáricos. Su ubicación está considerada en la vertiente oriental del piedemonte de los volcanes Pichincha y Atacazo, entre los 2.400 y 3.200 msnm, bajo la línea ecuatorial, con 0° 10' de latitud sur, y ocupa en la falda del volcán Pichincha, una grada tectónica de aproximadamente 300m sobre el callejón interandino, valle norte-sur que separa las cordilleras oriental y occidental. Por lo que el aspecto de la ciudad es de un canal de treinta por tres a cinco kilómetros, cuyo fondo, todavía parcialmente pantanoso, está constituido por sedimentos fluvio-lacustres de un antiguo lago (Peltre, 1989).

A estas características se suman otras particularidades geológicas; la vertiente del Pichincha y el reverso de la cuesta de la grada tectónica están principalmente constituidos por lavas, tobas poco endurecidas y cenizas volcánicas, afectadas por varias fallas importantes, el conjunto del sitio está recubierto, casi uniformemente, por una capa de diez a veinte metros de espesor de cenizas volcánicas limosas de origen eoliano (la cangahua) que moldea una topografía antigua. Estas formaciones presentan la particularidad de oponer poca resistencia a la erosión fluvial, y de endurecerse ligeramente cuando están expuestas al aire, lo que les permite conservar con impresionante frescura las fuertes incisiones de la última desglaciación, que constituye una intensa red de quebradas que atraviesan todo el sitio urbano (Peltre 1989).

Estas condiciones geomorfológicas sumadas al emplazamiento de población en estos espacios y a condiciones socio-económicas particulares han ayudado a ampliar los grados de exposición a una serie de amenazas de origen volcánico, sísmico y a procesos de remoción en masa.

2.4 Vulcanismo

En el Distrito Metropolitano de Quito la amenaza volcánica es alta, por la presencia de doce volcanes activos, de los cuales el Guagua Pichincha, Pululahua y Cotopaxi son los de mayor peligrosidad, ya que históricamente, fueron precisamente estos volcanes los que destruyeron parcialmente la ciudad y el área metropolitana. (Fernández, 1998).

La ciudad está doblemente expuesta a las caídas de cenizas potenciales del Guagua Pichincha y a los lahares del Cotopaxi, a este panorama es necesario sumarle la potencial amenaza provocada por los volcanes Cayambe, Antisana, Quilotoa y el Reventador. En el caso de los volcanes activos Cayambe y Antisana los riesgos generarían impactos sobre los sistemas de abastecimiento de servicios básicos de la ciudad, y en la parte del desarrollo urbano de la ciudad hacia la zona noroccidental tendría incidencia una posible erupción del Quilotoa. El Reventador a su vez ha afectado históricamente al DMQ con caída de ceniza que ha sido depositada en el área urbana de Quito, tal como la registrada el 3 de noviembre de 2002.

2.5 Sismicidad

La sismicidad en nuestro país obedece a tres grandes fuentes de generación: como principal causa está el sistema de subducción de la placa de Nazca por debajo de la

placa Sudamericana; como segunda causa el fallamiento continental y finalmente la sismicidad asociada al vulcanismo activo (Trujillo, 2003).

El complejo territorio del Distrito Metropolitano de Quito se encuentra expuesto a un sin número de peligros de origen natural y antrópico. Sin embargo, las áreas consideradas aptas para el funcionamiento del DMQ representan únicamente un 6.8% del territorio, y éstas se hallan altamente concentradas y por lo tanto en situación de vulnerabilidad (MDMQ, 2006).

La vulnerabilidad sísmica de la ciudad envuelve el manejo de gran cantidad de información referente a la evaluación de la zonificación sísmica, amenaza geológica, clasificación de las propiedades del suelo local, análisis de la respuesta dinámica de los depósitos, evaluación de los efectos de interacción suelo estructura, planificación urbana y la evaluación de la vulnerabilidad de las estructuras de las edificaciones existentes.

Para una planificación preventiva y lograr un desarrollo sostenible, es necesario entender la temática de riesgos como un problema real de política pública que considera la necesidad de mantener una relación interinstitucional y multisectorial, ya que cualquier decisión territorial posibilita la intervención para modificar o reducir las condiciones de vulnerabilidad, permite comprender mejor los fenómenos de la naturaleza y ayudan a la definición de políticas territoriales que orienten el crecimiento en zonas no vulnerables (MDMQ, 2006).

Los escenarios de daños por terremotos en Quito ha sido, más allá de una evaluación de daños potenciales a la ciudad y de su estado de preparación para este tipo de catástrofes, un diagnóstico de la información técnica disponible para poder realizar estudios de riesgo sísmico en el país, en el cual es fundamental un esfuerzo sostenido para recabar datos relativos a la sismicidad, a suelos y estructuras. Por otro lado, esta información debe complementarse con estudios sociológicos y económicos necesarios para la estimación del riesgo (Yepez H, Chatelain J, Guillier B).

Según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, el Distrito Metropolitano de Quito se encuentra en una de las zonas de mayor peligro sísmico.

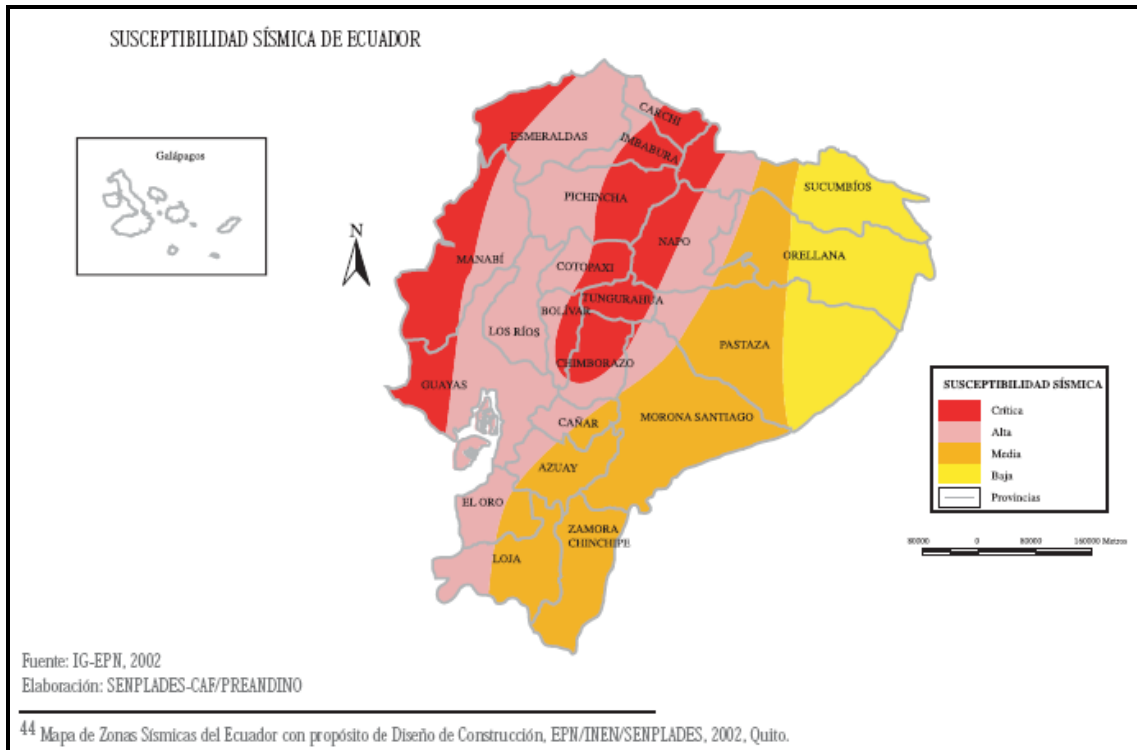


Figura 1. Mapa Sísmico del Ecuador

Los sismos más fuertes vividos por el Distrito Metropolitano de Quito, en los últimos 250 años, en los que la capital fue sacudida por movimientos de tierra que impedían a la gente mantenerse en pie, ocurrieron en 1755, 1797, 1859 y 1868, cuando en Quito apenas vivían unas 45000 personas, en una superficie menor a los 4 km².

Desde entonces el DMQ ha crecido más de 25 veces en población y aproximadamente unas 70 veces en área, a pesar de los esfuerzos por realizar una correcta ubicación poblacional en el territorio, se observa una propagación de edificaciones pobremente construidas, la ocupación de zonas peligrosas, la ausencia generalizada de diseño y construcción sismo-resistente, así como el seguimiento

poco estricto del código de la construcción. Existen estructuras en sitios inestables, como las quebradas rellenas de materiales poco compactos y las laderas de fuertes pendientes, primitivamente inhabitadas y que ahora están densamente ocupadas. (Fernández, 1998).

Los terremotos en el distrito están asociados con la tectónica de placas, la sismicidad local y el volcanismo activo. El último terremoto que afectó Quito ocurrió el 6 de marzo de 1987, a pesar de que el terremoto ocasionó aproximadamente 1,000 muertes y US \$700 millones de pérdidas fuera de Quito, los daños resultaron menores en la ciudad.

Es precisamente el aumento demográfico y la ocupación de zonas no aptas para vivienda las que llevan a asegurar que los eventos anteriores pueden servir como elementos para evaluar el impacto de un eventual terremoto en Quito, debido a la dinámica de ocupación territorial del DMQ “todo el suelo está comprometido, aunque el comportamiento de los suelos varíe según las características de cada fuente sísmica. Un gran terremoto en la actualidad afectaría no solamente a gran parte de la población urbana, sino también a los diferentes tipos de construcción, sean éstas de media o gran altura” (Fernández, 1998).

Por lo tanto el Distrito Metropolitano de Quito por poseer alta vulnerabilidad sísmica, está obligado a cumplir con la normativa internacional de riesgo sísmico, la cual exige realizar una microzonificación sísmica del territorio basada en una mejor distribución geográfica, en la cual los técnicos identifiquen las zonas de mayor y menor riesgo frente a las diversas amenazas de origen natural, lo cual permitirá disminuir la vulnerabilidad a la que estamos expuestos.

La gestión del riesgo aplicada a la prevención y mitigación constituye en la actualidad, un conjunto de acciones, mecanismos y herramientas encaminadas a la reducción de riesgos de desastres dentro de un contexto de planificación preventiva. Para ello se requiere plena capacidad y disponibilidad de los actores involucrados a fin de transformar los factores de vulnerabilidad en oportunidades de cambio que permitan evitar o mitigar el impacto de futuros desastres (SENPLADES, 2005).

Los riesgos se entienden como una probabilidad de ocurrencia de un desastre o de daños y parte de la interacción de elementos dinámicos y cambiantes como la amenaza y la vulnerabilidad. Sin embargo, para poder entender el riesgo es necesario expresarlo en el territorio a través de la modelación y la cartografía pertinente. Una cartografía de riesgos define los escenarios existentes y presenta diferentes lecturas. Es decir, los tipos de amenaza y vulnerabilidad pueden especificar sus posibles escenarios y con ello diferentes aportes dentro de una gestión urbana y de riesgos (SENPLADES, 2005).

Las amenazas forman parte de la cotidianidad quiteña. Pero estas amenazas incrementan su peligrosidad por las vulnerabilidades que las acompañan.

Independientemente de la calidad de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, cabe resaltar que más del 50% de la construcción de viviendas en Quito se desarrolla dentro del mercado informal. Sería muy difícil tratar de precisar cuántas de las edificaciones han sido construidas siguiendo normas sismo resistentes.

Las áreas de mayor vulnerabilidad coinciden con las edificaciones de adobe, que en su gran mayoría son vetustas, localizadas en el centro histórico. Las generadas por autoconstrucción, que en Quito se desarrollan sin tecnologías apropiadas, y aun las de concreto, sin estructuras sismo resistentes, están dispersas en toda la ciudad, con concentración en los barrios del anillo periférico, donde se ubican los grupos sociales menos favorecidos.

El mejor momento para actuar es en las fases iniciales del ciclo de los desastres, cuando con medidas de prevención y mitigación se pueden reforzar los sistemas y evitar o reducir daños. Con una acertada planificación, medidas preventivas, y mecanismos de respuesta, el efecto de un desastre puede ser minimizado (OPS 1998).

2.6 Procesos de Remoción en Masa

Si bien el suelo no es una amenaza en sí, el mal uso que se dé a su capacidad de soporte se puede convertir en un gran riesgo. En ese sentido es necesario revisar los procesos de remoción en masa, que si bien abarcan el conjunto de causas relacionadas con el desplazamiento de volúmenes variables de agregados del suelo cuesta abajo, por incidencia de fuerzas como la gravedad y los movimientos sísmicos, entre otros agentes, pueden ser muy destructores y se encuentran ampliamente localizados en el DMQ. (Peltre, 1989).

Los flujos de lodo son mucho más graves y destructores: además del lodo depositado en capas de 30 a 60 cm de espesor, acarrea piedras, bloques, troncos de árbol. La extensión varía de algunos centenares de metros hasta 4 km y entre 100 y 400 metros de ancho. Los flujos corresponden, en casi todos los casos, a aluviones ligados a violentos aguaceros muy localizados de recurrencia decenal o mayor que se suceden en el DMQ (Peltre, 1989).

En el caso de los hundimientos y centrónos en los provocados en las calzadas, estos se deben a rupturas de alcantarillas, ubicadas en material de relleno de antiguas quebradas. Son accidentes espectaculares y marcan de manera particular la memoria colectiva.

Su mecanismo está ligado a la erosión subterránea al producirse una precipitación, bajo la presión alcanzada por las aguas en los sectores de fuerte pendiente, la ruptura de un colector de alcantarilla produce un flujo paralelo al colector en materiales poco compactos de relleno de una quebrada. Este flujo prosigue con un lento trabajo de erosión y cava progresivamente la superficie bajo la calzada; durante un cierto tiempo, ésta resiste gracias al apisonamiento de las capas superficiales. La bóveda cede bruscamente, a veces bajo el peso de un vehículo, y abre en las avenidas hondonadas espectaculares, que pueden alcanzar 20 m de profundidad e igual ancho, en 150 m de largo (Fernández, 1998).

Ejemplos de este fenómeno han sido la desaparición de un vehículo en un hueco que se abrió súbitamente en la Av. América el 3 de mayo de 1978, el hundimiento de la Av. Libertadores causada por la recuperación del cauce natural de la quebrada Navarro sucedido el 1 de febrero de 1984, y recientemente podríamos anotar el hundimiento ocurrido en marzo de 2008 en el intercambiador de El Trébol.



Figura 2. Hundimiento Intercambiador del Trébol

En el caso de los derrumbes son eventos más frecuentes y puntuales, que afectan a barrios construidos en zonas de ladera. Éstos llevan a su paso viviendas o las impactan seriamente, lo que está ligado al debilitamiento de la cohesión de las cenizas volcánicas que forman el suelo de la ciudad, así como por la saturación de humedad en los taludes. “No se trata de lodo, sino de masas de tierra húmeda al borde de taludes mal apuntalados y mal drenados, que al colapsar recorren pequeñas distancias. Son los accidentes que producen más muertes” (Fernández, 1998). Precisamente estas condiciones se reflejan en el aumento en el número de eventos de este tipo en la última década.

Aproximadamente el 50% del área metropolitana, presenta condiciones particularmente propicias al desencadenamiento de amenazas geomorfológicas, puesto que son espacios que reúnen una serie de características desfavorables, como: la morfología, por la presencia de: cimas agudas, fuertes pendientes, vertientes abruptas, encañonamientos, importantes desniveles y afloramientos rocosos; la naturaleza de los terrenos, que en su mayoría son depósitos volcánicos más o menos endurecidos y coluviones al pie de las laderas; el sistema de drenaje; la erosión de los suelos que, en su mayoría son formaciones al desnudo sin vegetación, erosión regresiva y la ocupación del suelo que propicia a que suceda procesos erosivos. (D'Ercole, Metzger, 2004).

Precisamente estas condiciones físicas del Distrito Metropolitano de Quito permitieron al SIGAGRO clasificar estas áreas en cuatro rangos: extrema, alta, moderada y baja, de acuerdo a la susceptibilidad que estos sitios presentan, donde, se identifica un 6% del DMQ con áreas muy inestables ante la acción de factores naturales como la lluvia o por la propia constitución de los suelos, consideradas como áreas de susceptibilidad extrema; el 2% del suelo del Distrito es considerado como de susceptibilidad alta; el 71% corresponde a áreas constituidas por materiales consolidados, por lo que son de susceptibilidad moderada a deslizamientos y apenas un 15% constituye susceptibilidad baja con la presencia de pendientes moderadas o bajas.

2.7 Rellenos en El Distrito Metropolitano De Quito

Los rellenos en Quito comenzaron desde la época de la colonia, iniciando desde los rellenos de las quebradas Marín y Manosalvas, en 1914 se cubre la quebrada de Jerusalén, lo que es ahora la Av. 24 de Mayo, por el año 1930 otras quebradas fueron rellenas con el objetivo de darle paso a la creación de nuevos barrios como

Chimbacalle y La Magdalena al sur del Panecillo y La Mariscal Sucre al norte, ya en 1940 la consecuente expansión urbana hacia el norte de la ciudad llevará al relleno de nuevas quebradas que darán paso a la Avenida Orellana, Shyris, entre otras. A partir de los años 50 se rellenaron progresivamente las grandes quebradas que bajan del Pichincha en los sectores de La Carolina y del Aeropuerto al norte. (Peltre, 1989).

En la actualidad, la tendencia de los rellenos continúa activamente tanto al norte de la ciudad (quebradas El Colegio y Rumiurco) como en el sur (quebrada La Raya, de Los Chochos y el proyecto de cobertura del Río Machángara). (Peltre, 1989).

Estos procesos de ocupación del territorio, dados en laderas como en sitios rellenados, han construido un amplio escenario de riesgos a los cuales está expuesta la población y la infraestructura emplazada en el Distrito Metropolitano de Quito, que pasa por las inundaciones, los deslizamientos y flujos de lodo.

En base a estudios se identificó al callejón interandino norte, como una cuenca sedimentaria limitada por la cordillera real y occidental, dentro de esta, existen estructuras tectónicas en comprensión y muchas de ellas activas desde hace mucho tiempo atrás. Entre estas, es muy importante identificar la de Quito por ser una peligrosa fuente sismo-genética para la ciudad, que se halla construida sobre una estructura tipo de cuencas rellenas de sedimentos, generada por una falla inversa.

Además de la actividad humana, muchos fenómenos dinámicos intervinieron sobre el relleno de la cuenca como son el volcanismo, los sismos y las lluvias, e incluso fenómenos de la remoción en masa particularmente comunes en la zona andina. Se encuentran depósitos fluviales de arenas y arenas volcánicas, conglomerados y arcillas, depósitos lacustres y palustres con laminas arcillosas y limosas, niveles arenosos finos y turbas, depósitos volcánicos como caídas de pómez y cenizas, sedimentos dinámicos como flujos de lodo y niveles de paleosuelos.

2.8 Acuíferos del Distrito Metropolitano De Quito

Las fuentes subterráneas de agua para el Distrito Metropolitano de Quito están ubicadas en los cinco acuíferos de Quito: el Acuífero de Quito Centro- Norte, el Acuífero Sur, el San Antonio de Pichincha, el del Valle de los Chillos y Pifo. El más investigado hasta la fecha es el Acuífero de Quito ya que ha sido explotado desde 1940 y en el 2004 la EMAAP-Q inició un proyecto para el aprovechamiento sostenible de sus aguas. Este acuífero se recarga a través de las laderas del Pichincha y tiene un caudal de recarga de 460 litros por segundo. Se calcula que hay una reserva de 765 l/s la cual podría ser explotada a lo largo de 25 años (MDMQ, 2007).

El Acuífero Sur se ubica dentro de la cuenca del río Machángara y tiene un área de acumulación de 52 km² y su cuenca de alimentación es de 127 km². Comenzó a ser explotado hace 40 años para uso industrial y actualmente la EMAAP-Q lo utiliza en menor escala con miras al uso doméstico. Tiene como reservas de explotación un total de 563l/s de los cuales se extraen hoy en día 387l/s y se mantienen disponibles 166l/s. Debido a que está localizado en un área urbanizada y de alto desarrollo industrial este acuífero tiene alto riesgo de recibir sustancias contaminantes pues a nivel superficial (hasta 15 metros de profundidad) ya recibe infiltración directa de la zona de acumulación (MDMD, 2007).

Por su parte el acuífero San Antonio de Pichincha se encuentra localizado en las parroquias de Pusuquí, Pomasqui y San Antonio de Pichincha. La mayor recarga la recibe del acuífero Centro Norte de Quito y tiene una reserva acumulada de 180l/s en el nivel superior y 190l/s en el inferior. Se estima que puede ser explotado a lo largo de 20 años con una disponibilidad de agua de 320l/s. Debido a su ubicación y a que es alimentado en parte por el río Monjas tiene un alto riesgo de contaminación en el nivel superior.

En el Valle de los Chillos (ubicado al suroriente de la ciudad) se encuentra el acuífero del mismo nombre que está abastecido por aguas superficiales que bajan de la ladera norte del volcán Pasochoa, el cual se encuentra ubicado en el Refugio de Vida Silvestre Pasochoa aportando con un caudal de recarga de 950l/s, del que se aprovechan 450l/s. El nivel superior del acuífero tiene aguas con cierto grado de contaminación bacteriológica que llegan del río San Pedro pero que pueden ser fácilmente potabilizadas (MDMQ, 2007).

El valle donde se encuentra el acuífero de Quito está dentro de un entorno geodinámico complejo, en donde interaccionan: depositación, volcanismo, tectónica y erosión, generando una de las cuencas estratigráficamente complicada.

Las formaciones Machangara, Cangahua y Depósitos La Carolina involucran tanto el basamento hidrogeológico como el relleno de la zona que comprende el Acuífero de Quito. Las rocas que corresponden al basamento son un conjunto de lavas andesíticas con fracturas sub-horizontales intercaladas con flujos piro plásticos. El relleno de la cuenca, se ha desarrollado con productos volcánicos sedimentarios, depositados en diferentes ambientes.

En la zona de estudio, se encuentra la falla de Quito, que va desde el Sur y termina en una estructura en forma de cola de caballo conocida como la falla Botadero; este conjunto de fallas genera levantamientos a lo largo con dirección Suroeste-Noreste conocidos como los levantamientos de Ilumbisí-Puengasí, Batán-La Bota y Calderon-Catequilla.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR DEFORMACIONES GEOLÓGICAS EN EL DMQ

Uno de los objetivos principales en el estudio para determinar las zonas de mayor deformación sismo-tectónica en el Distrito Metropolitano, es la obtención de la magnitud y período de recurrencia de los posibles terremotos que ocurran a lo largo de la falla, puesto que la magnitud de un terremoto está directamente relacionada con el área de rotura del plano de falla.

Por lo tanto se han tomado los registros de los sismos que ha sufrido el Distrito Metropolitano desde el año 1996 hasta el último registrado que fue en el 2010, con las respectivas coordenadas en donde ocurrió el evento.

Tabla 1. Registro de Sismicidad en Quito

FECHA	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD	MB	MS	DISTANCIA	AZIMUTH	CIUDAD
1/7/96	-0.035	-78.42	13.1	4.4	4.2	20.6	207.4	QUITO
1/17/96	-0.015	-79.004	19.6	4.6	4.4	59.7	110.1	QUITO
3/14/96	-0.225	-79.057	32.8	4	3.8	61.9	87.4	QUITO
3/26/96	-0.412	-78.51	10.1	4.1	3.9	23.6	2.6	QUITO
3/26/96	-0.398	-78.549	21.7	4.1	3.9	22.7	13.8	QUITO

4/30/96	0.194	-79.152	23	4.4	4.2	84.6	121.1	QUITO
6/15/96	-0.459	-78.074	10.7	4	3.8	55.4	301.3	QUITO
6/26/96	-0.128	-78.473	8.5	4.1	3.9	8.5	200.6	QUITO
8/25/96	-0.165	-78.826	113.8	4	3.8	36.5	96.2	QUITO
8/30/96	0.172	-78.881	122.8	4.1	3.9	59.1	134.3	QUITO
9/8/96	-0.171	-78.984	12	4	3.8	53.9	93.4	QUITO
10/6/96	-0.321	-77.81	2.5	4.1	3.9	77.9	279.9	QUITO
10/31/96	-0.302	-79.406	15.5	4.1	3.9	101.3	83.6	QUITO
11/8/96	-0.185	-79.21	89.3	4	3.8	78.9	91.2	QUITO
5/1/97	0.081	-78.439	11.4	4.3	4.1	31.9	192.3	QUITO
5/2/97	0.077	-78.456	11.3	4.2	4	31.2	189.1	QUITO
5/2/97	0.09	-78.457	12.2	4	3.8	32.6	188.5	QUITO
5/27/97	-0.118	-78.491	14.2	4	3.8	9.2	186.5	QUITO
5/27/97	-0.462	-78.695	17.9	4	3.8	36.3	36.6	QUITO
6/17/97	-0.396	-78.647	17.9	4.2	4	27.2	37	QUITO
7/25/97	-0.107	-78.429	11.5	4	3.8	13	217.2	QUITO
10/7/97	-0.03	-78.431	10.3	4.2	4	20.4	202.2	QUITO
10/9/97	-0.594	-78.375	5.9	4.2	4	45.9	342.4	QUITO
10/24/97	0.254	-79.143	11	4.2	4	87.5	125.2	QUITO
10/30/97	-0.231	-78.277	2.1	4	3.8	25.1	277.9	QUITO
12/2/97	-0.304	-77.874		4	3.8	70.5	279.5	QUITO
12/7/97	0.087	-78.442	10.8	4.1	3.9	32.5	191.4	QUITO
2/3/98	-0.188	-78.347	12.4	4.1	3.9	17	265.6	QUITO
4/3/98	-0.297	-78.654	11.7	4	3.8	20.2	57.6	QUITO
5/23/98	-0.113	-79.249	90	4	3.8	83.8	96.6	QUITO
7/8/98	-0.157	-78.492	11.3	4.1	3.9	4.9	190.6	QUITO
8/6/98	-0.054	-78.46	9.8	4.1	3.9	16.9	195.2	QUITO
8/9/98	-0.063	-78.462	13.4	4.1	3.9	15.8	195.4	QUITO
8/11/98	-0.154	-78.462	9.6	4	3.8	6.6	219.9	QUITO
8/17/98	-0.06	-78.479	13.3	4.1	3.9	15.7	188.4	QUITO
9/20/98	0.257	-78.914	82.9	4	3.8	68.5	137.8	QUITO
9/24/98	-0.221	-78.448	8.3	4	3.8	6.3	292.2	QUITO

10/20/98	-0.026	-78.492	13.1	4.1	3.9	19.3	182.6	QUITO
3/13/99	-0.017	-78.516	13.5	4	3.8	20.4	174.9	QUITO
3/26/99	0.053	-78.935	19.1	4.1	3.9	55.9	120.2	QUITO
3/28/99	-0.261	-79.353	35.1	4.1	3.9	95	85.9	QUITO
4/4/99	0.052	-78.95	9.8	4.2	4	57.3	119.3	QUITO
5/6/99	0.044	-78.927	11.4	4.2	4	54.7	119.8	QUITO
6/26/99	-0.031	-78.477	6.9	4	3.8	18.9	187.8	QUITO
6/26/99	-0.042	-78.473	8.4	4.1	3.9	17.9	189.8	QUITO
6/27/99	-0.033	-78.476	6	4	3.8	18.7	188.1	QUITO
8/10/99	0.091	-79.33	39.2	4.1	3.9	97.7	109.3	QUITO
8/30/99	-0.031	-78.473	7.9	4.2	4	19	189.2	QUITO
12/13/99	-0.534	-78.435	22.1	4	3.8	37.8	349	QUITO
4/14/00	-0.047	-78.504	11.4	4.2	4	17	178.4	QUITO
4/24/00	-0.434	-79.035	20.1	4	3.8	64.9	66.4	QUITO
4/29/00	0.252	-79.148	12.8	4.1	3.9	87.8	124.9	QUITO
6/13/00	-0.278	-79.428	26.1	4.5	4.3	103.4	85.2	QUITO
7/6/00	-0.532	-78.702	21.9	4.1	3.9	43.2	31.4	QUITO
10/5/00	0.201	-79.207	23.1	4.4	4.2	90.3	119.6	QUITO
11/4/00	-0.58	-78.437	5	4.2	4	42.8	350.6	QUITO
11/7/00	0.058	-78.756	2.3	4	3.8	40.4	135.2	QUITO
1/15/01	0.337	-78.78	101.3	4.3	4.1	67.3	152.5	QUITO
2/19/01	0.012	-78.346	10.9	4.1	3.9	29.1	215.9	QUITO
4/6/01	0.082	-78.349	11.6	4.2	4	35.6	208.2	QUITO
4/6/01	-0.453	-78.042	8.5	4	3.8	58.1	298.9	QUITO
4/13/01	0.008	-78.755	13.2	4.2	4	36.5	129.3	QUITO
4/20/01	-0.041	-78.417	13.2	4	3.8	19.9	207.6	QUITO
5/4/01	0.093	-78.372	5.7	4	3.8	35.6	203.6	QUITO
6/1/01	-0.026	-78.459	6.4	4.2	4	19.9	193.3	QUITO
8/3/01	-0.553	-78.45	10.6	4	3.8	39.6	351.9	QUITO
8/6/01	-0.132	-78.754	13	4.1	3.9	29.2	104.9	QUITO
9/25/01	0.316	-78.772	103.8	4	3.8	64.8	152.2	QUITO
11/9/01	-0.255	-78.966	29.2	4.6	4.4	52.1	83.2	QUITO

11/9/01	-0.242	-78.958	22.8	4	3.8	51.1	84.8	QUITO
12/14/01	-0.034	-78.472	11.7	4	3.8	18.7	189.6	QUITO
12/31/01	-0.313	-77.837	6	4.1	3.9	74.7	279.7	QUITO
1/16/02	-0.511	-78.671	24.8	4	3.8	39.5	28.8	QUITO
7/7/02	-0.126	-78.801	21.6	4.3	4.1	34.4	103.9	QUITO
8/9/02	-0.135	-78.785	20.7	4.1	3.9	32.5	102.9	QUITO
9/8/02	-0.129	-78.756	16.1	4.1	3.9	29.5	105.4	QUITO
12/4/02	-0.439	-78.204	10	4.2	4	42.3	308.9	QUITO
12/4/02	-0.428	-78.221	10	4.2	4	40	309.2	QUITO
3/9/03	0.101	-78.954	106.1	4	3.8	60.5	123.5	QUITO
9/13/03	-0.269	-79.539	33.6	4	3.8	115.7	86.2	QUITO
9/14/03	0.066	-78.339	8.3	4.1	3.9	34.6	211.2	QUITO
12/9/03	0.045	-78.461	9.4	4	3.8	27.5	189.1	QUITO
1/7/04	-0.42	-77.933	22.4	4.1	3.9	67.6	291.2	QUITO
1/7/04	-0.41	-77.951	15.2	4	3.8	65.3	290.9	QUITO
1/7/04	-0.425	-77.941	9.4	4	3.8	67	291.9	QUITO
1/10/04	-0.439	-78.475	12.5	4	3.8	26.7	354	QUITO
3/8/04	-0.249	-78.495	10.7	4	3.8	5.5	353.7	QUITO
5/22/04	0.087	-78.852	19.7	4.1	3.9	50.4	129.2	QUITO
5/30/04	0.269	-78.734	111.1	4.1	3.9	58.2	153.5	QUITO
8/16/04	-0.335	-78.532	13.2	4.2	4	15.4	13.2	QUITO
9/24/04	-0.522	-78.697	16.1	4	3.8	41.9	31.5	QUITO
6/14/05	-0.153	-78.501	10.9	4	3.8	5.2	179.4	QUITO
7/30/05	-0.056	-78.437	13.6	4	3.8	17.4	203.5	QUITO
8/5/05	-0.151	-78.504	9.8	4	3.8	5.5	174.8	QUITO
9/19/05	-0.211	-78.537	10.7	4	3.8	4.3	73.6	QUITO
10/10/05	0.272	-78.939	102	4	3.8	71.6	137.1	QUITO
10/15/05	0.092	-78.444	12	4	3.8	33	190.9	QUITO
12/18/05	0.104	-78.92	97.4	4.1	3.9	57.6	126	QUITO
2/4/06	-0.389	-78.593	14	4.1	3.9	23.4	26.2	QUITO
2/24/06	-0.213	-78.511	9.3	4	3.8	1.9	39	QUITO
8/1/06	0.029	-78.484	9.2	4	3.8	25.5	184.1	QUITO

10/15/06	-0.114	-78.506	7.7	4.2	4	9.6	175.9	QUITO
10/15/06	-0.122	-78.496	8	4	3.8	8.7	183	QUITO
12/17/06	-0.257	-79.09	15.1	4.2	4	65.8	84.5	QUITO
1/20/07	-0.09	-78.522	8.9	4.2	4	168.7	247.4	QUITO
4/4/07	0.067	-78.411	12	4.2	4	198.4		QUITO
7/11/07	-0.239	-78.903	11.6	4.3	4.1	84.4		QUITO
7/11/07	-0.247	-78.901	8.8	4.1	3.9	83.3		QUITO
11/26/07	-0.277	-78.779	14.3	4	3.8	74.6		QUITO
3/20/08	-0.221	-78.933	19.3	4.4	4.2	48.2	87.3	QUITO
5/11/08	0.005	-78.519	18.9	4.1	3.9	22.8	174.7	QUITO
9/29/08	-0.16	-78.643	4.8	4	3.8	16.5	105.7	QUITO
10/1/08	0.075	-78.449	10.4	4.2	4	31.1	190.6	QUITO
10/4/08	-0.16	-78.653	6.5	4.3	4.1	17.6	104.6	QUITO
1/12/09	-0.425	-78.551	10.3	4	3.8	25.6	12.7	QUITO
4/3/09	0.058	-78.88	18.9	4.2	4	51.1	124.2	QUITO
6/23/09	-0.481	-78.652	19.9	4	3.8	35.5	28.5	QUITO
8/14/09	0.07	-78.444	9.3	4	3.8	30.6	191.8	QUITO
11/7/09	-0.044	-78.369	8.4	4.2	4	22.6	220	QUITO
11/11/09	-0.034	-78.385	11.8	4	3.8	22.5	214.6	QUITO
12/3/10	0.021	-79.141	22	4	3.8	75.3	109	QUITO
12/4/10	0.47	-78.993	27.3	4	3.8	92.4	143.7	QUITO
						Fuente: IGEPN		

Ubicación de los sismos registrados en el Distrito Metropolitano de Quito.

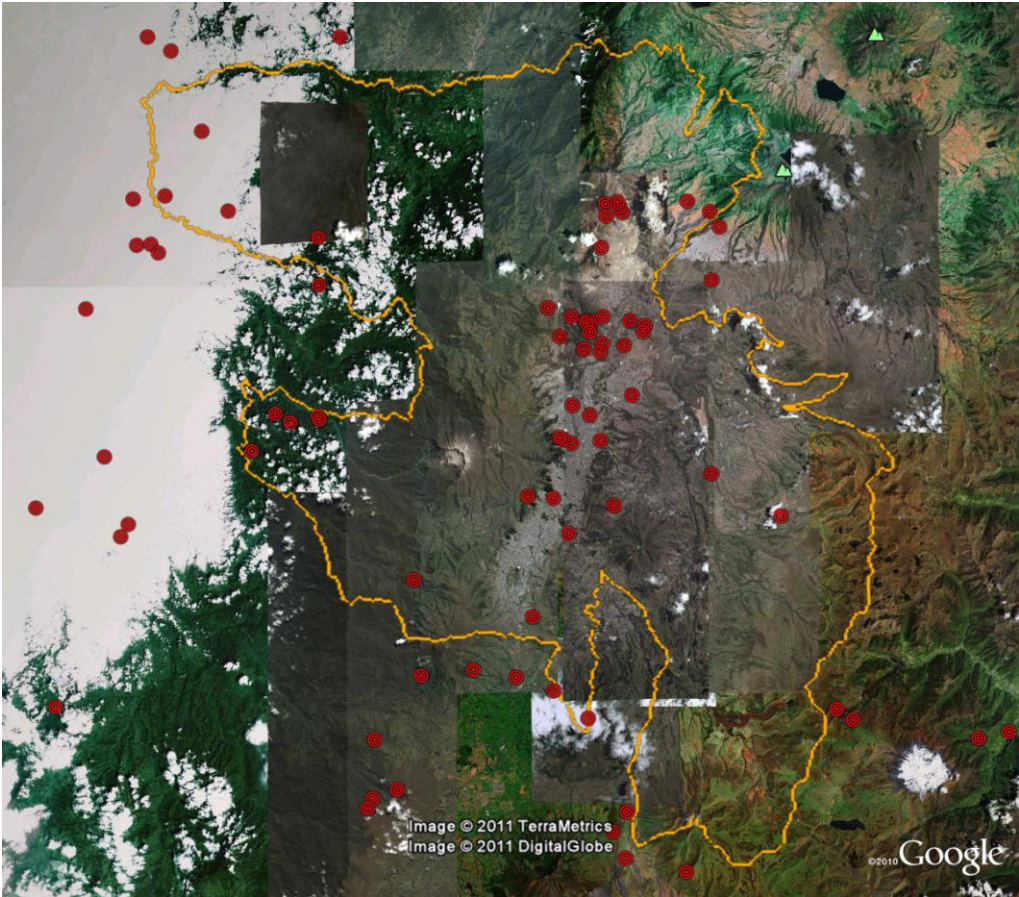


Figura 3. Sismos registrados en todo el Distrito Metropolitano de Quito

Con estos datos y en base a la cartografía obtenida del IGM, se determinaron las zonas con mayor deformación geológica, con los siguientes procesos:

En el programa Surfer y Global Mapper se introdujo los datos con el respectivo DEM (Modelo Digital de Elevación) en el cual se obtuvieron mapas donde se podrán visualizar los eventos sísmicos y su respectiva posición geográfica.

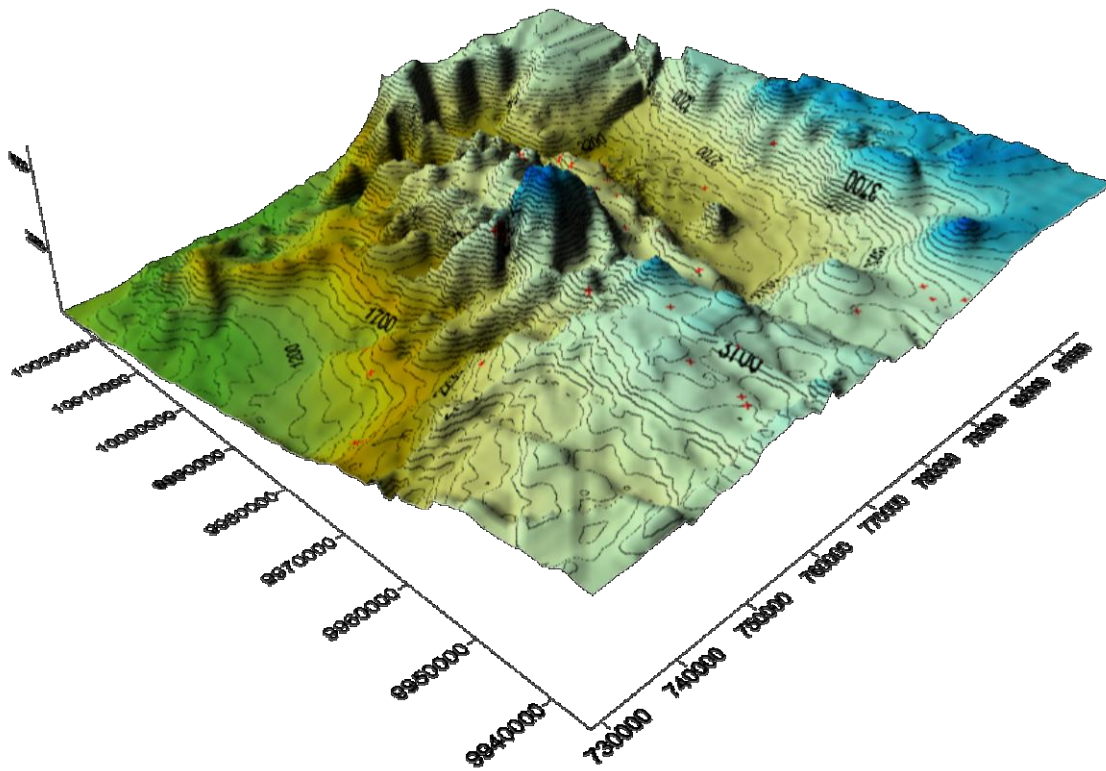


Figura 4. Sismos registrados en un DEM

3.1 Deformaciones

Mediante filtros se pueden visualizar las zonas de color rojo que corresponden a aquellas con mayor deformación tectónica en base a la sismicidad registrada.

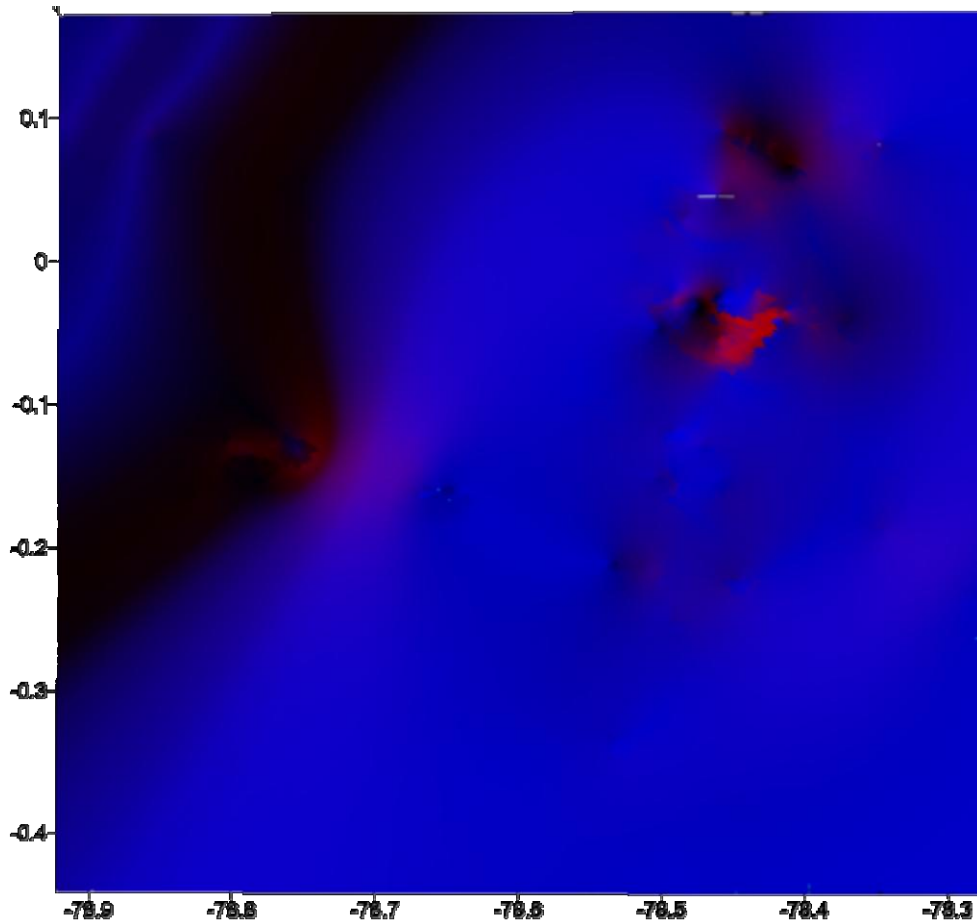


Figura 5. Zonas de mayor deformación sismo-tectónica

En la siguiente figura se muestran claramente las zonas de mayor convergencia de vectores que corresponden a las zonas deformables.

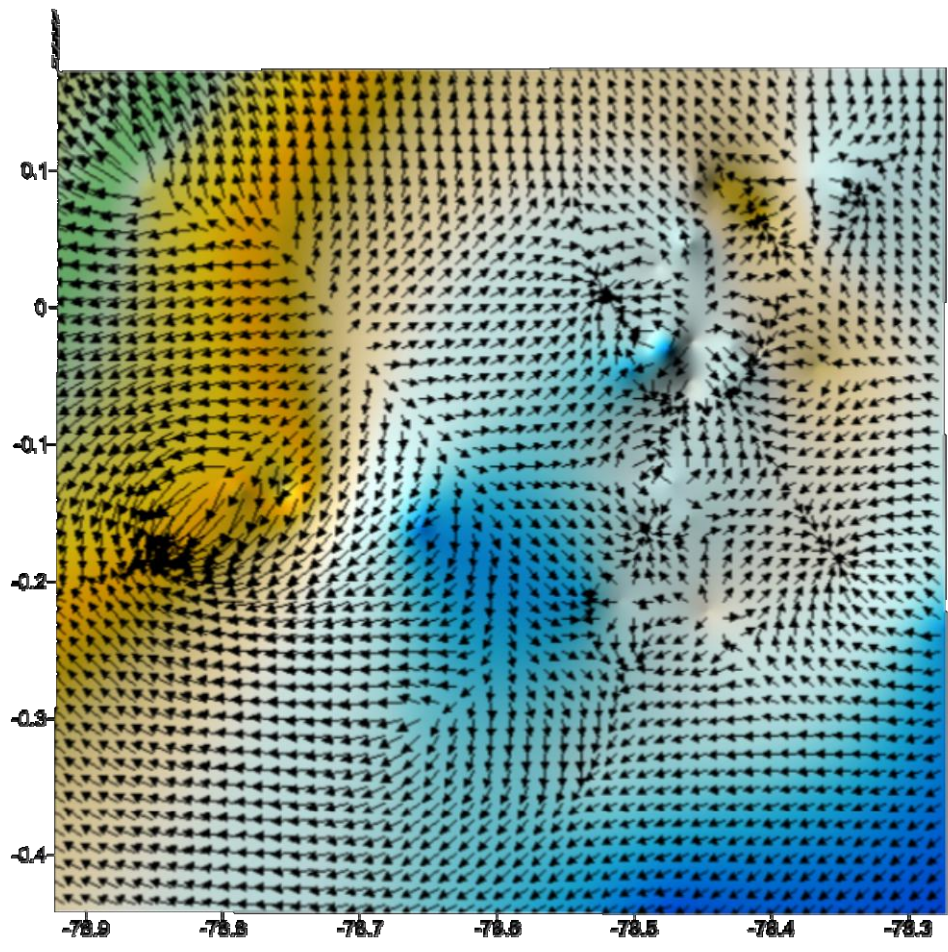


Figura 6. Zonas con mayor deformación sismo-tectónica (vectorial)

Posteriormente se realizaron cortes para poder analizar los perfiles relacionando la superficie del terreno con los eventos sísmicos.

Perfil 1. La figura muestra la superficie de terreno, en donde el perfil determina claramente que existe deformación del terreno.

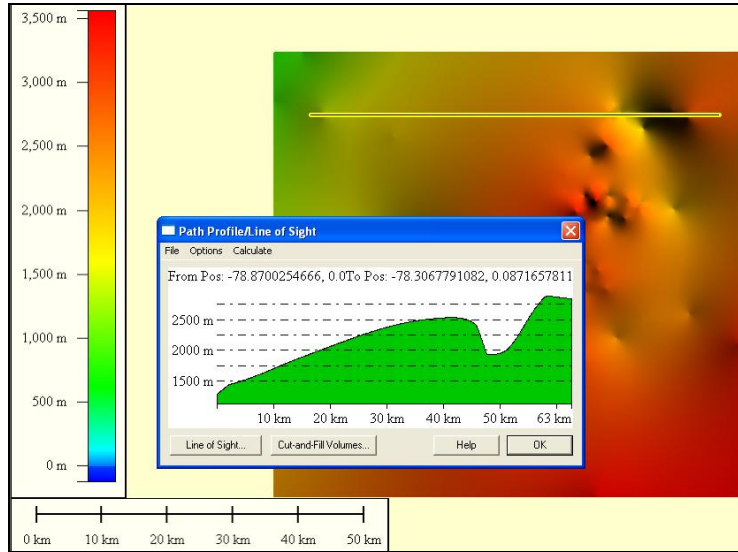


Figura 7. Corte 1 de la superficie del terreno

Perfil 2. La figura muestra la superficie de terreno, en donde el perfil determina claramente que existe deformación del terreno.

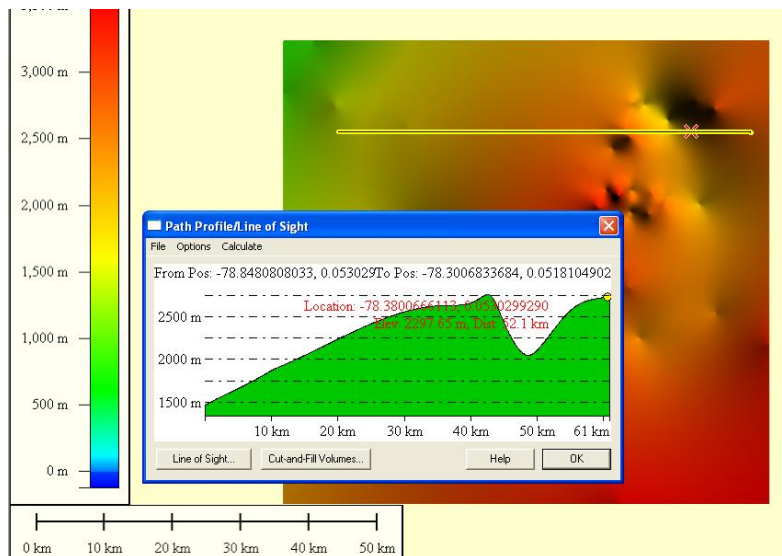


Figura 8. Corte 2 de la superficie del terreno

3.2 Técnica DINSAR (Interferometría Diferencial Con Radar De Apertura Sintética)

3.2.1 Filosofía del programa

La Interferometría SAR (INSAR) y su variante, DInSAR, son técnicas basadas en el proceso y análisis de imágenes de Radar de Apertura Sintética (SAR). Se fundamenta en la detección de pequeñas variaciones de altitud a partir del cálculo de la diferencia de fase de pares de imágenes radar sobre una misma área de estudio (E. Sillerico, M. Marchamalo, J. G. Rejas, R. Martínez, 2010).

Estas diferencias de fase están en función de la distancia y pueden ser debidas básicamente a dos motivos: en primer lugar, a la diferencia de posición entre las dos trayectorias del satélite, hecho que permite medir la topografía del terreno; en segundo lugar, a un desplazamiento de la zona observada entre las dos adquisiciones, que puede ser causado por varios fenómenos, como por ejemplo, un terremoto o una subsidencia del terreno (E. Sillerico, M. Marchamalo, J. G. Rejas, R. Martínez, 2010).

Para el estudio se ha utilizado el programa ASFMap, el cual realiza una conversión del radar operativo producido de apertura sintética (SAR) y datos ópticos a una variedad de formatos de fácil uso, para un procesamiento en un software SIG.

Se procesaron dos imágenes radar de diferentes años (2006 y 2009) proporcionadas por el CLIRSEN, las cuales han sido procesadas por el programa para obtener interferogramas y determinar zonas vulnerables.

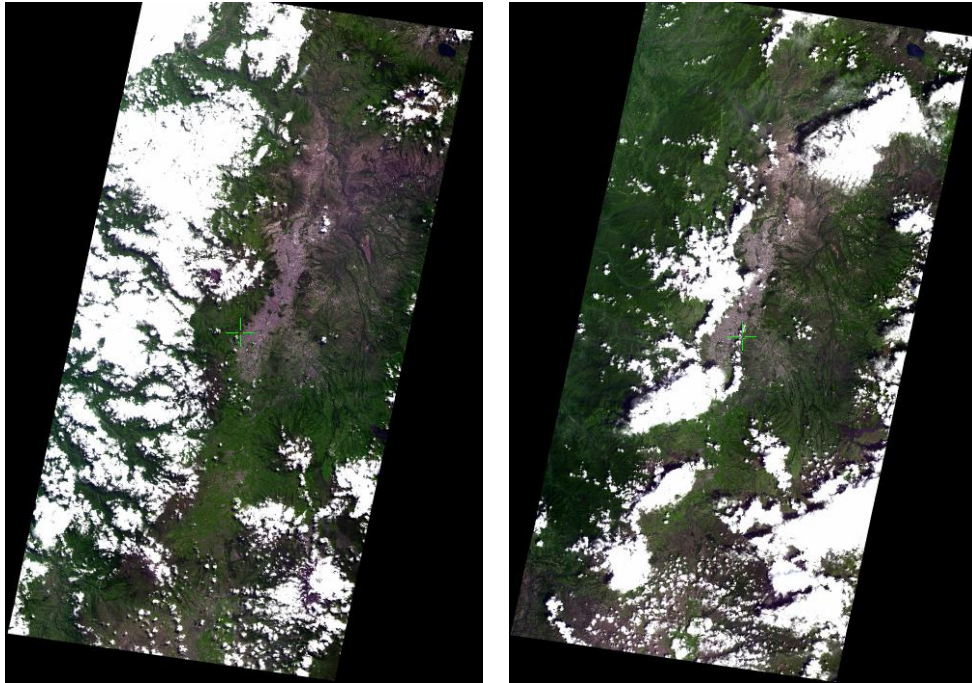
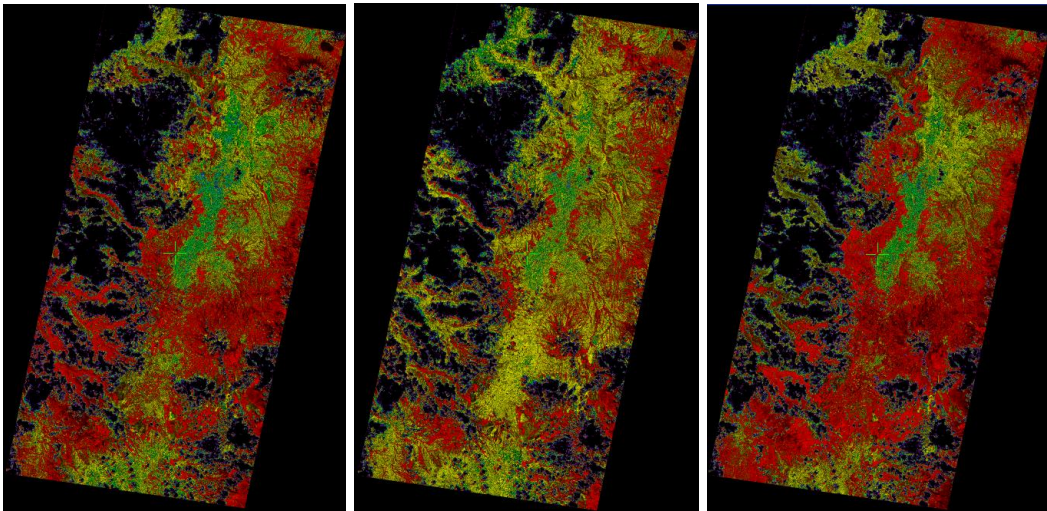


Figura 9. Imágenes radar 5A-20090517 (2009)

Para obtener:



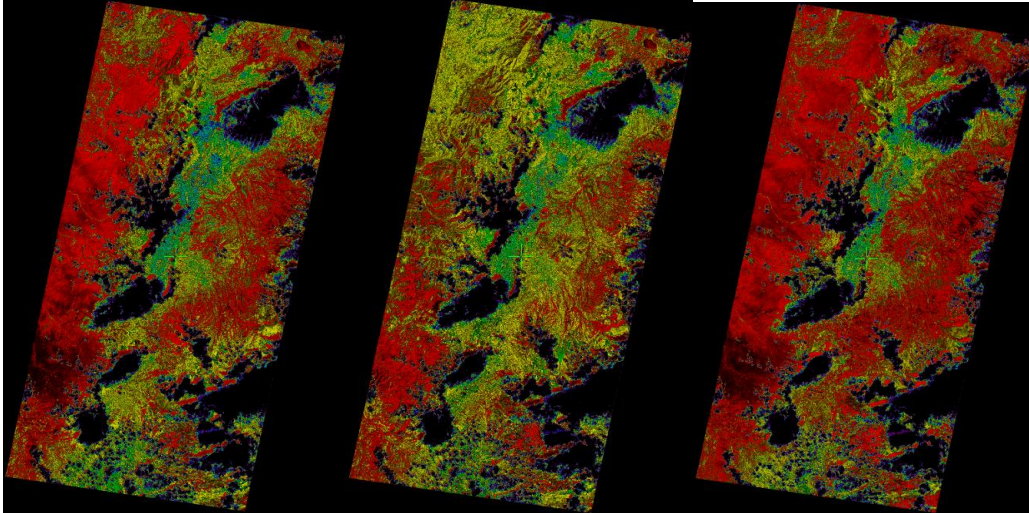


Figura 10. Imágenes mediante Interferometría radar del año 2006

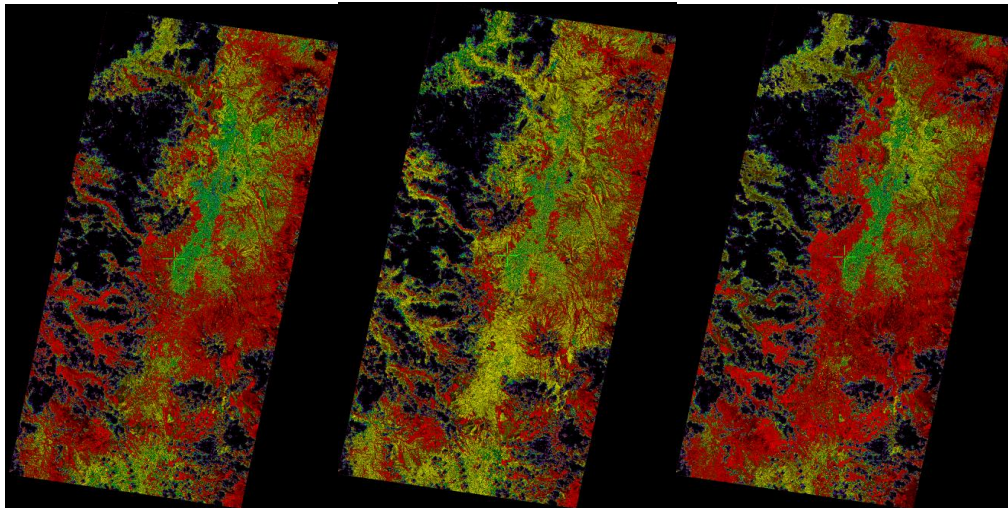


Figura 11. Imágenes mediante Interferometría radar del año 2009

En todas las imágenes se puede observar que las zonas de color rojo, que corresponden a las zonas con mayor deformación tectónica.

3.3 Metodología para la elaboración de Mapas de Zonas de Seguridad a escala 1:50.000 en función de la amenaza por Movimientos en Masa e Inundaciones.

En función del compromiso presidencial sobre Zonas de Seguridad en el Territorio Nacional que se encuentra en desarrollo, el Departamento Técnico de la SNGR, desde diciembre de 2010, ha propuesto, desarrollado y aplicado una metodología (elaborada por SUN MOUNTAIN INT. – como parte de una consultoría del PNUD en la que intervinieron SNGR – BID) para la obtención de cartografía de amenazas y determinación de zonas sensibles a movimientos en masa e inundaciones, aplicable a cualquier escala de trabajo y en cualquier espacio territorial. (SNGR, 2011).

Esta metodología reúne 9 mapas temáticos proporcionados por diferentes instituciones obteniendo los mapas de amenazas en los cuales se han identificado Zonas de Seguridad que se los clasificó en tres categorías Zona de seguridad 1, Zona de Seguridad 2 y Zona de Transición.(SNGR, 2011).

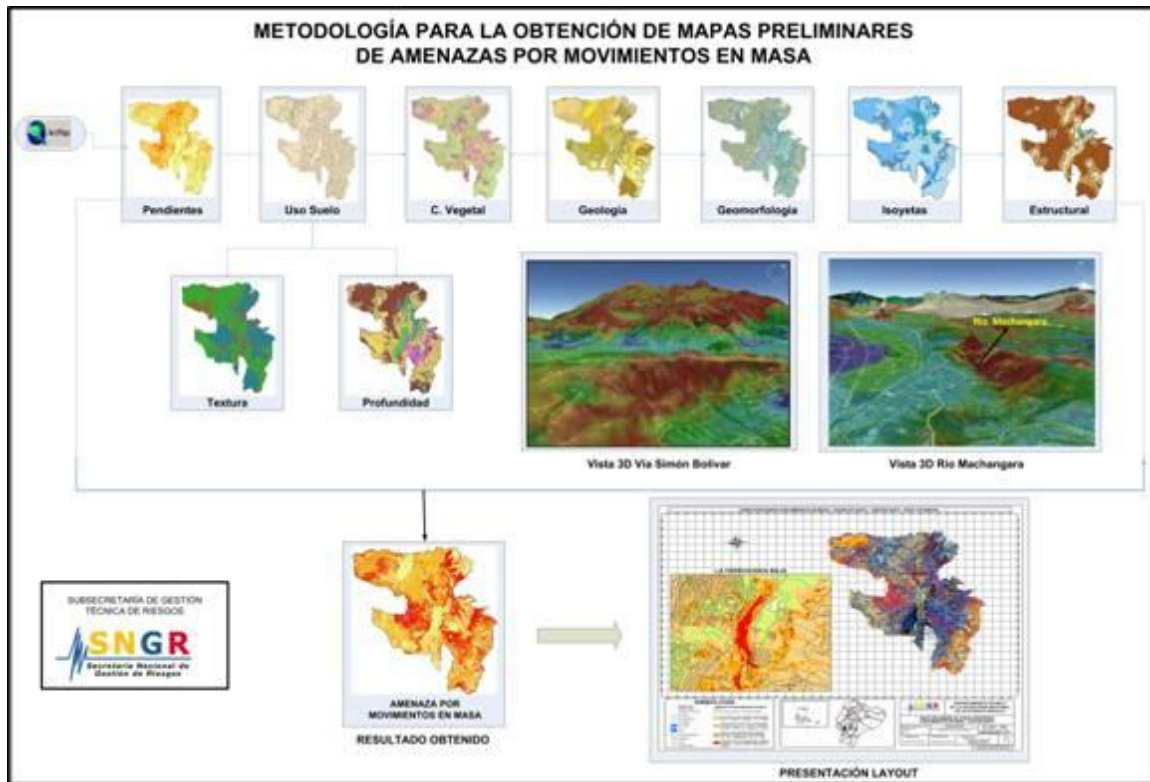


Figura 12. Metodología SNGR para mapas por movimientos en masa

- **La zona de seguridad 1**, corresponde al valor 1 “Sin Amenaza” del mapa preliminar de amenazas, es decir son áreas que presentan las mejores condiciones de estabilidad para el desarrollo de actividades socio-económicas.
- **La zona de seguridad 2**, corresponde al valor 5 “Amenaza muy alta” del mapa preliminar de amenazas, es decir son áreas que presentan las peores condiciones de estabilidad para el desarrollo de actividades socio-económicas.
- **La zona de transición**, corresponde a los valores **2, 3, y 4** “Amenaza baja, media y alta” del mapa preliminar de amenazas, es decir son áreas que su

grado de estabilidad se va a mantener o a incrementar dependiendo de las actividades antrópicas y/o procesos geodinámicos que se den en dichas áreas. Es decir en estas zonas es necesario regular las actividades con el fin de mantener o disminuir el grado de amenaza.

Definiciones de zonas de seguridad:

Zona de seguridad 1

- Desde el punto de vista del Medio Físico, corresponden a zonas de estabilidad física en donde no se evidencian procesos de deformación tectónica activos ni procesos de geodinámica externa intensos. No existen amenazas por movimientos en masa que puedan poner en desequilibrio la estabilidad ambiental de una región.
- Desde el punto de vista de la emergencia-respuesta, es aquel lugar físico, región o infraestructura que posee una mayor capacidad de protección y/o relocalización poblacional y para el desarrollo de actividades socio-económicas productivas con objetivos de Ordenamiento Territorial. (SNGR, 2011)

Zona de seguridad 2

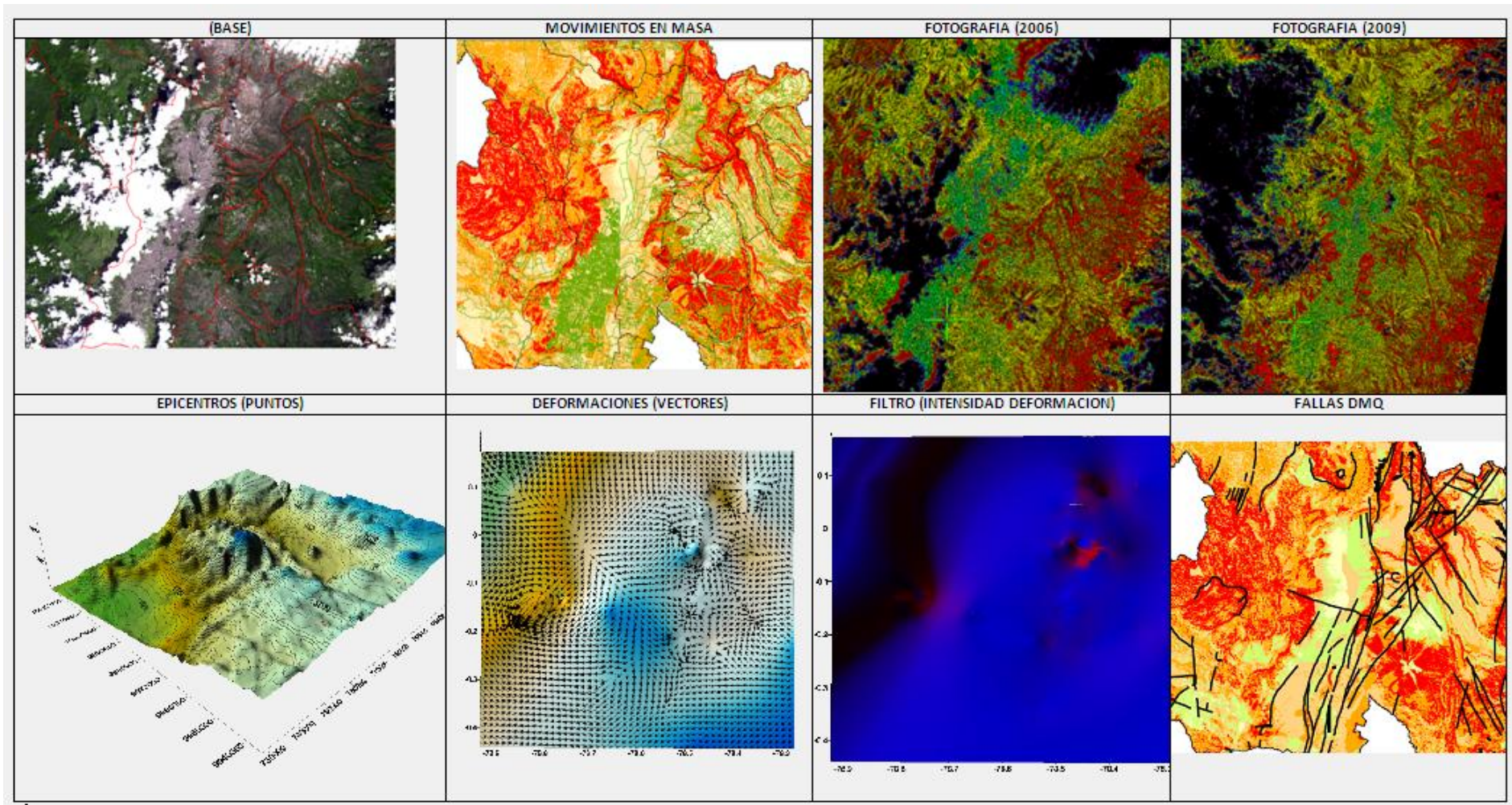
- Desde el punto de vista del Medio Físico, corresponden a zonas de inestabilidad física evidenciada y comprobada en la ocurrencia de movimientos en masa. Son también zonas muy tectónizadas y con intensa intervención antrópica.
- Desde el punto de vista de la emergencia-respuesta, es aquel lugar físico, región o infraestructura que posee una menor o nula capacidad de permanecer estable y brindar protección ante una amenaza y que además son zonas en las que es necesario implementar medidas de prevención.(SNGR, 2011)

Zona de transición

- Zonas en la que existe desarrollo socio-económico ambiental que puede mantenerse estable o no en función de la presión que ejerza la actividad antrópica y/o procesos geodinámicos. (SNGR, 2011).

En la siguiente tabla muestra las diferentes metodologías utilizadas para determinar las zonas de mayor deformación tectónica del Distrito Metropolitano de Quito.

Tabla 2. Cuadro metodologías utilizadas para determinar las zonas con mayor deformación sismo tectónico



En conclusión se puede evidenciar que existen 3 zonas con mayor deformación:

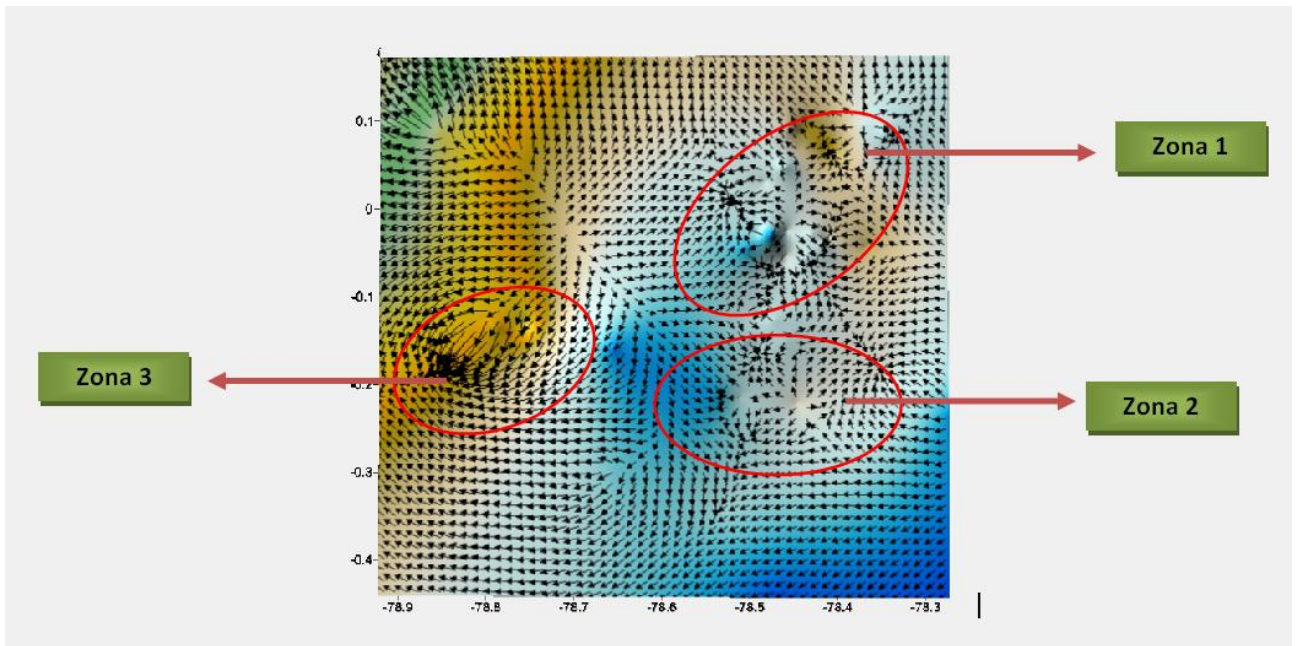


Figura 13. Zonas delimitadas con mayor deformación

Las mismas zonas con la metodología usada por la SNGR

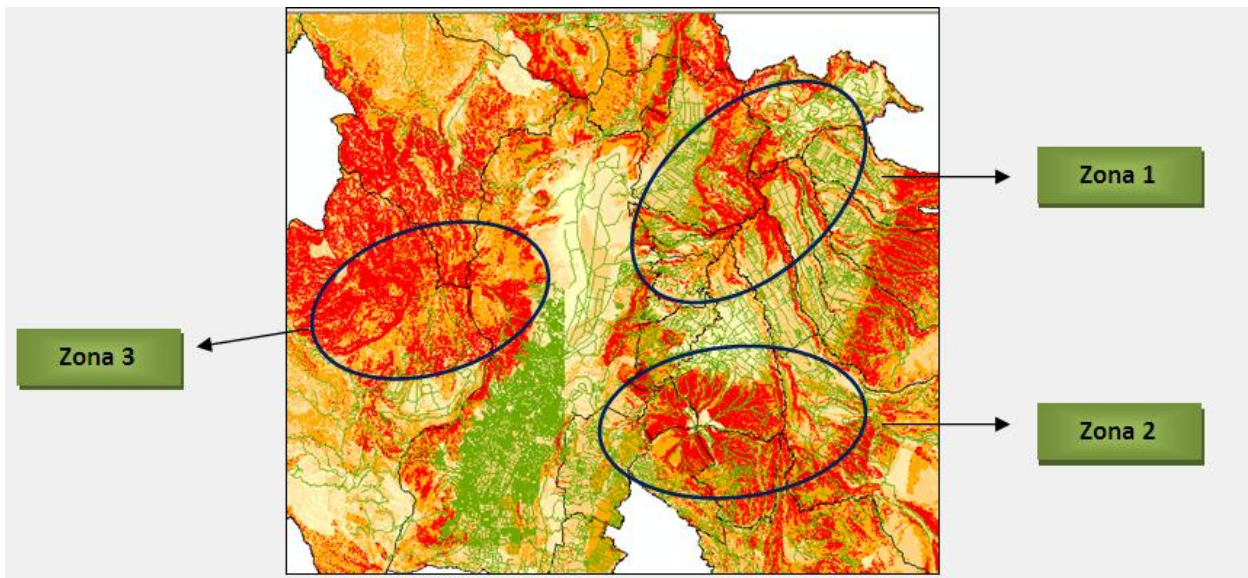


Figura 14. Zonas delimitadas con mayor deformación en mapa de amenazas

Las mismas zonas con el sistema de fallamiento de Quito.

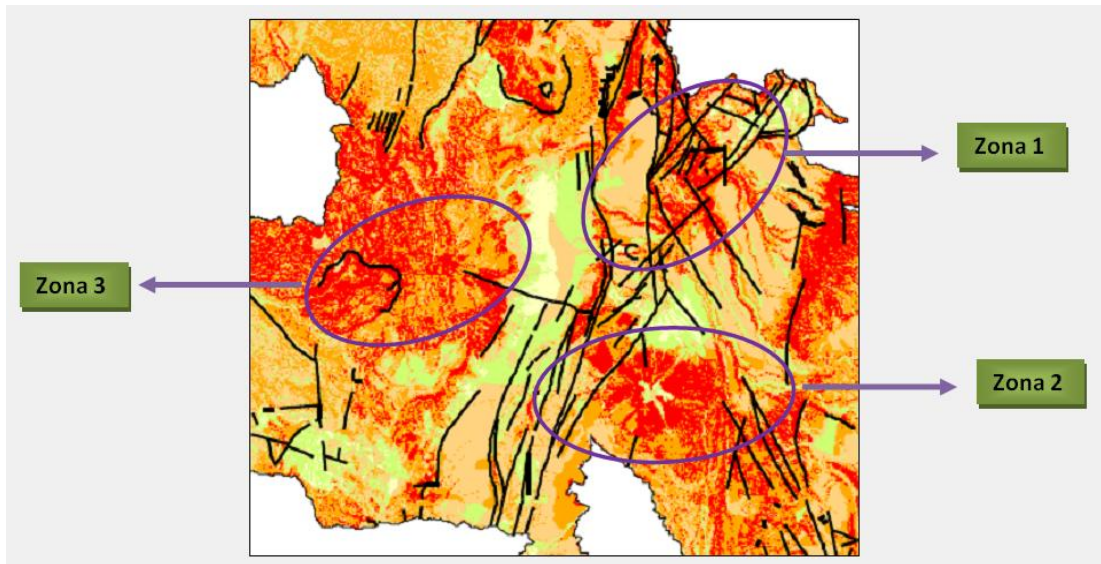


Figura 15. Zonas delimitadas con mayor deformación con el sistema de fallas del DMQ

Zona 1.

(Nororiente Quito)

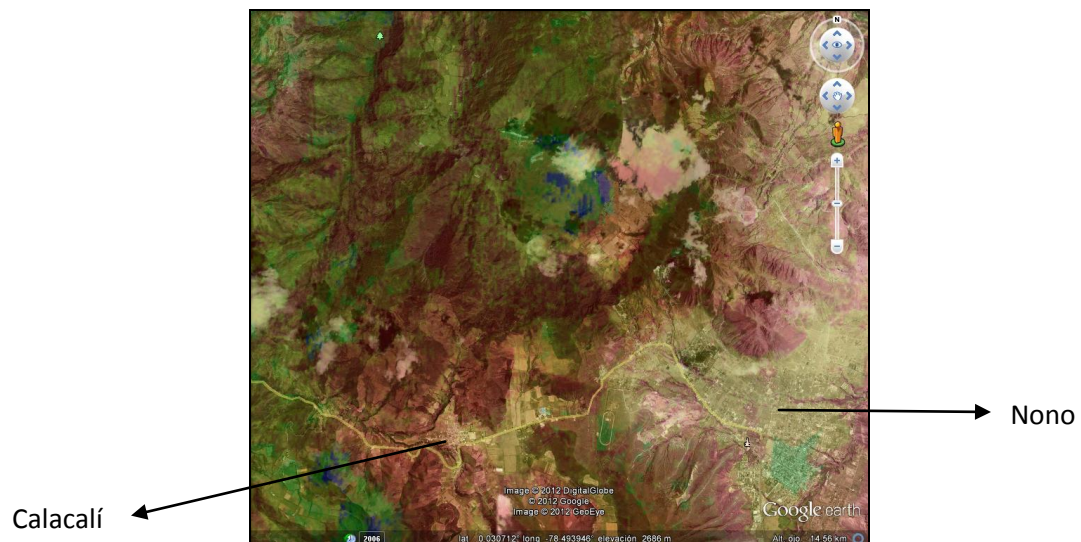


Figura 16. Nororiente de Quito



Figura 17. Nororiente de Quito. Zona Ampliada.

Zona 2. (Ilaló)

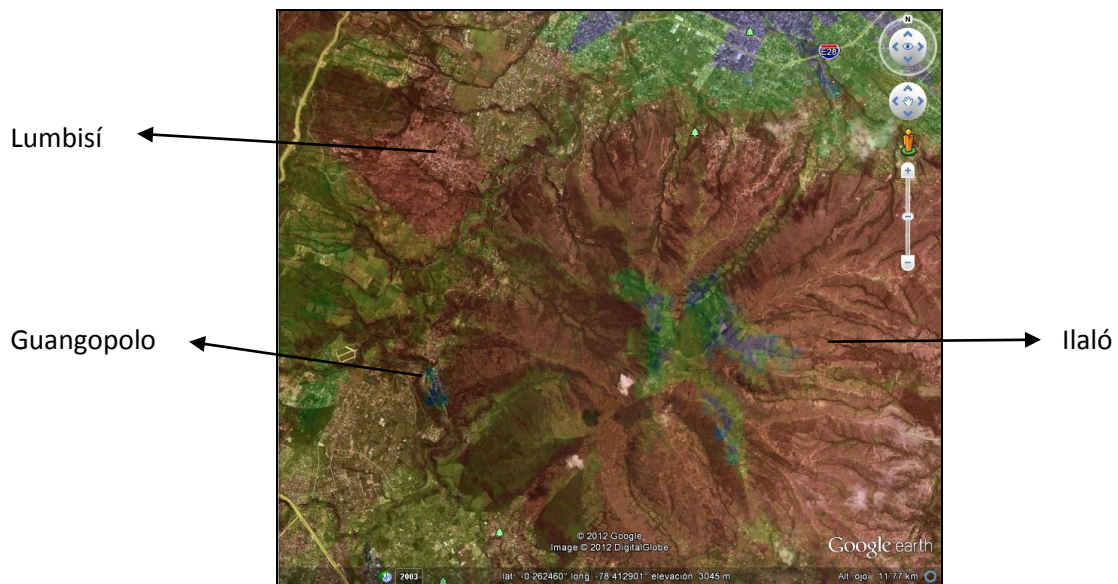


Figura 18. Ilaló

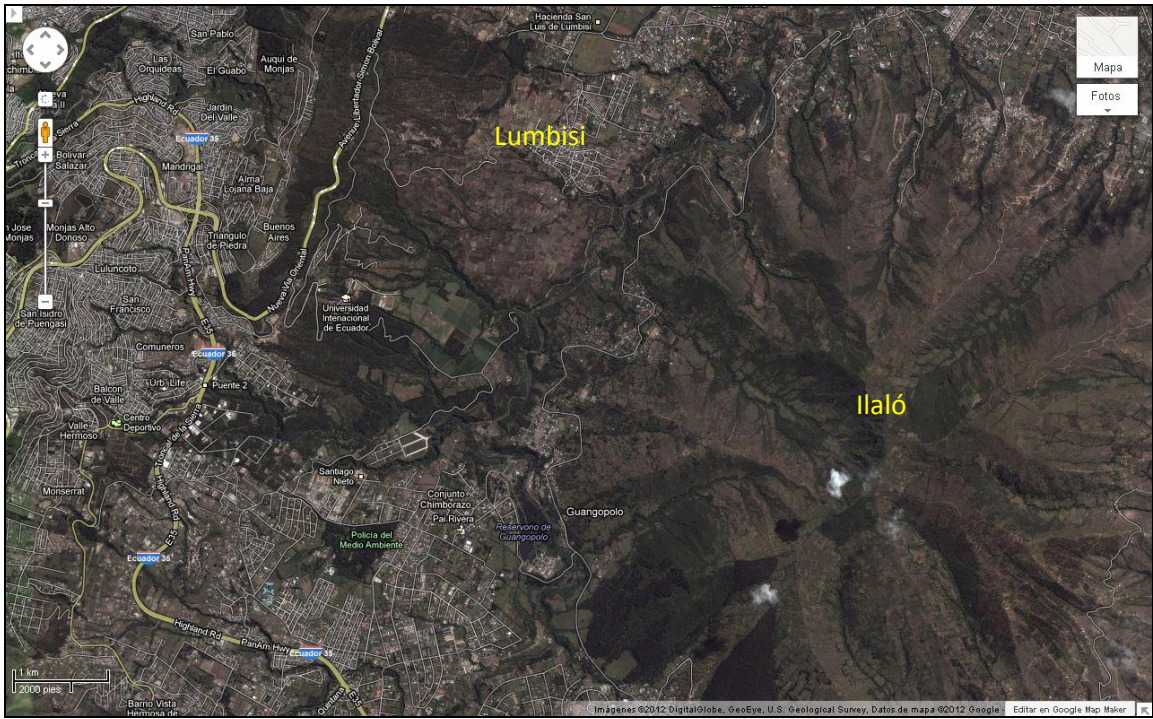


Figura 19. Ilaló. Zona ampliada

Zona 3. (Guagua Pichincha)

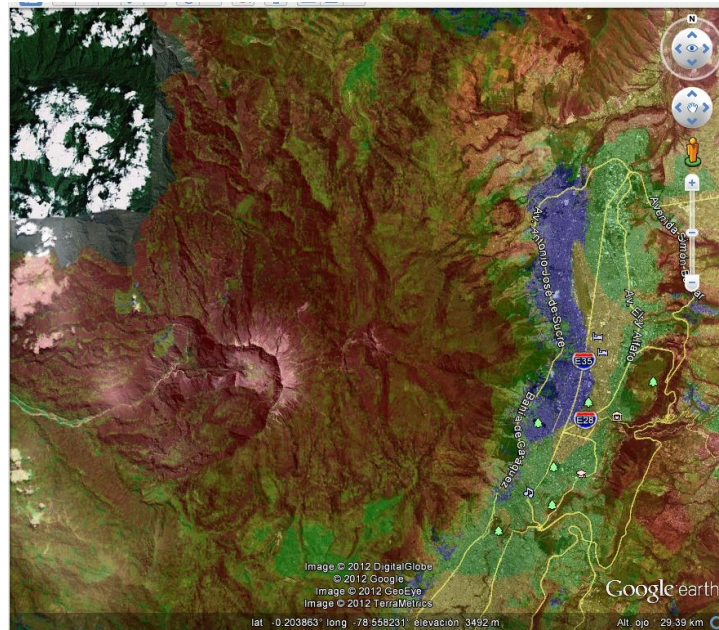


Figura 20. Guagua Pichincha

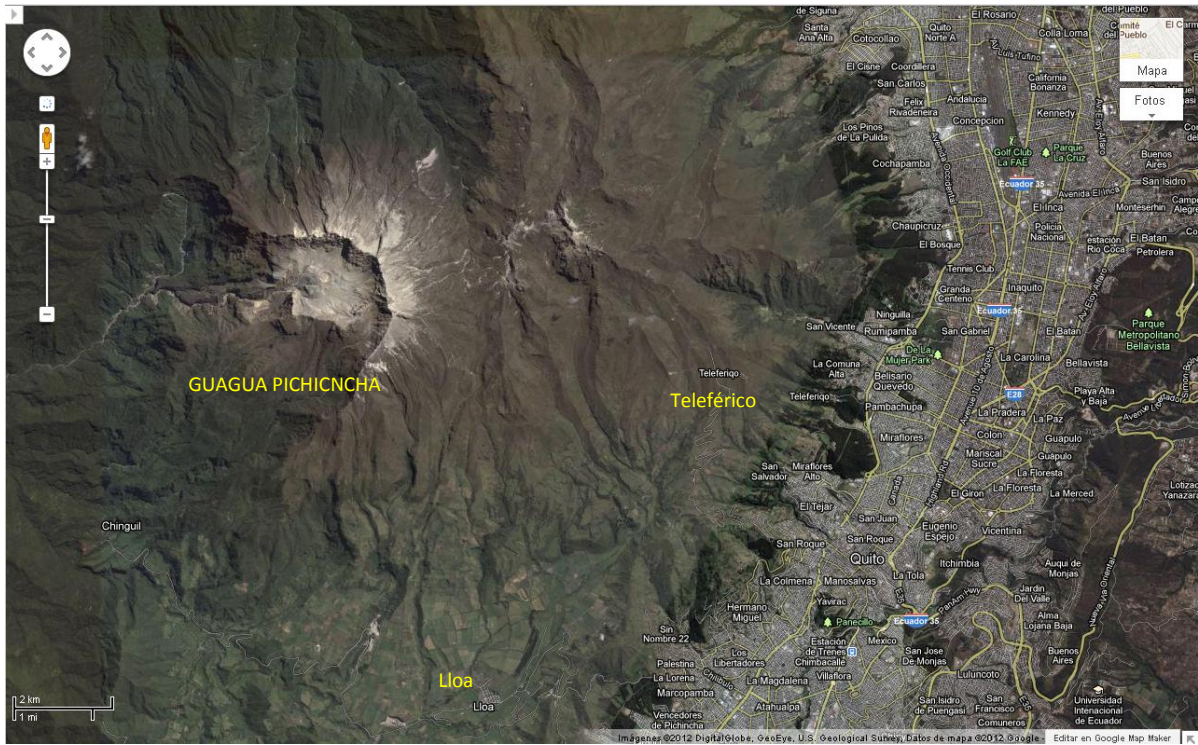


Figura 21. Guagua Pichincha. Zona Ampliada.

CAPITULO IV

4. HAZUS- SELENA

4.1 FEMA's Methodology for Estimating Potential Losses from Disasters

(Metodología de la FEMA para estimar las pérdidas potenciales de un desastre).

El instituto Nacional de Ciencias de la Edificación (NIBS, EEUU) ha desarrollado una herramienta, HAZUS-MH para la Agencia Federal de Administración de Emergencias (FEMA, EEUU) capaz de estimar pérdidas por causa de eventos de naturaleza extrema. Esta herramienta ha sido desarrollada para ser usada en:

- anticipar los efectos de un desastre sísmico y para tener la idea de la respuesta necesaria para manejar de forma exitosa dicho desastre natural,
- desarrollo de planes de recuperación después del desastre y
- mitigación de las posibles consecuencias de terremotos.

La metodología genera una estimación de las consecuencias de daño para una ciudad o región basado en un 'terremoto tipo', es decir un escenario sísmico con una magnitud y ubicación específica. La resultante estimación de pérdida describirá la escala y extensión del daño que esta pueda causar dicho terremoto.

Todo sistema, métodos y datos han sido programados en un software amigable que funciona bajo la plataforma de GIS-ESRI.

De manera simplificada, los pasos seguidos por la metodología HAZUS es la siguiente:

1. Seleccionar el área de estudio.
2. Especificar la magnitud y ubicación de un terremoto tipo. Para estimar el escenario sísmico, se deben hacer consideraciones a las posibles ubicaciones de las rupturas en las fallas existentes.
3. Proveer información adicional que describa las condiciones locales de suelo y geología, si es disponible.
4. Usando fórmulas insertadas en HAZUS, distribuciones de probabilidad son obtenidas para distintos niveles de daño a diferentes variables.

Generalmente el daño causado por un terremoto es directa o indirectamente el resultado de la intensidad de respuesta del suelo, pero también existen otros efectos de terremotos (como la longitud de ruptura, licuefacción, inestabilidades de taludes, etc.) que pueden causar deformaciones permanentes en el suelo, lo que a su vez son efectos adversos en estructuras, caminos, cañerías entre otras.

El tipo de suelo puede tener un efecto significativo en la intensidad de la respuesta de suelo en un lugar particular. El software contiene distintas opciones para determinar el efecto del tipo de suelo en la respuesta para una magnitud y ubicación determinada. El problema de esta metodología es que no es posible de aplicar fuera de la realidad de los EEUU debido a que fue desarrollado solo con la realidad de este país.

La metodología HAZUS ha sido adaptada incluyendo mayor flexibilidad comparado con herramientas no disponibles al público de manera gratuita, como por ejemplo ArcGIS.

Una inclusión de gran importancia es el uso de arboles lógicos para incorporar las posibles incertezas, donde en cada rama, un peso es asignado dependiendo de la importancia en la respuesta de cada rama.

Mientras el método empleado por HAZUS es atractivo desde el punto de vista técnico/científico, el hecho que sea hecho a la medida y realidad de los EEUU y compatible solo a un software específico de SIG hace muy difícil la aplicación en ambientes y situaciones geográficas distintas.

Por la importancia de análisis de riesgo sísmico, el centro Internacional de Geo-Riesgos (ICG), a través de NORSAR (Noruega) y la Universidad de Alicante (España), ha desarrollado un software gratuito capaz de realizar riesgo sísmico en zonas urbanas usando el método de espectro-capacidad. El software se llama **SELENA** (SEismic Loss EstimatioN using a logic tree Approach). El usuario proveerá la cantidad de área construida o el número de estructuras por cada tipo modelo estructural disponible, fuentes sismogénicas, leyes de atenuaciones empíricas, mapas de suelos y las correspondientes amplificaciones de la respuesta de suelos, curvas de capacidad y fragilidad correspondientes a cada modelo de estructura tipo y finalmente los costos de reparación o reemplazo. La herramienta calcularía la función de probabilidad para distintos niveles de daño (leve, moderado, extensivo y completo) para los distintos tipos de estructuras. La probabilidad es usada en conjunto con el área construida o el número de estructuras para expresar los resultados en términos de área dañada (en metros cuadrados) o número de estructuras dañadas. Finalmente, usando un modelo económico simplificado, el daño es convertido en pérdidas económicas en la correspondiente moneda, como también la cantidad de víctimas mortales.

El algoritmo es de fácil uso y comprensión. La principal innovación es la inclusión de una metodología de árboles lógicos, que permite la consideración de incertezas

epistémicas relacionadas con los distintos tipos de parámetros de entrada del programa. Los resultados finales incluyen los correspondientes niveles de confianza. Hasta ahora, el método ha sido aplicado de manera exitosa en la ciudad de Nápoles y Oslo.

“Método del Espectro de Capacidad”, porque combina los parámetros de respuesta de suelo en términos de la respuesta espectral con la curva de capacidad específica de la estructura. La filosofía es que cualquier estructura es dañada por sus desplazamientos permanentes (y no por la aceleración que experimenta).

HAZUS, FEMA desarrolló curvas de capacidad para 36 tipos de estructuras de los EEUU para 4 códigos. Las 144 curvas de capacidad han sido desarrolladas de manera analítica, pero ajustadas de manera que los conocimientos empíricos disponibles se ajuste a esta realidad cuando sea necesario. La curva de capacidad de una estructura es definida mediante 3 puntos de control: Diseño, Fluencia y último de capacidad. Hasta el punto de fluencia, la estructura se considera en el rango lineal elástico. Desde el punto de fluencia hasta el punto de última capacidad, la curva de capacidad cambia de un estado elástico a uno totalmente plástico y se asume que la curva es totalmente plástica, más allá del punto último (una forma lineal). En algunas ocasiones, se asume que la curva de capacidad tiene una forma bilineal (2 partes lineales) para simplificar el modelo mostrado.

Los estados de daño estructural son (como en la mayoría de los casos propuestos por otras metodologías y sin tomar en cuenta el estado de no daño) divididas en cuatro partes principales: leve, moderado, extensivo y completo.

Tabla 3. Descripción de Estados de Daño

ESTADOS DE DAÑO		DESCRIPCION
	LEVE	Pequeñas grietas en las esquinas de las aberturas de puertas, ventanas y de las intersecciones de techo en la pared, pequeñas grietas en las chimeneas de mampostería y las chapas de mampostería
	MODERADO	Grietas en las esquinas de las puertas y ventanas, pequeñas grietas diagonales en los muros, grandes grietas en las chimeneas de ladrillo, caída de chimeneas de mampostería de altura.
	EXTENSIVO	Grandes grietas diagonales a través de las paredes, el movimiento lateral permanente de pisos y el techo, caída de chimeneas de ladrillo, grietas en los cimientos, y deslizamiento de la estructura sobre cimientos.
	COMPLETO	La estructura puede tener gran desplazamiento lateral permanente, estar en peligro inminente de colapso o en fracaso por el sistema de resistencia de carga lateral, algunas estructuras pueden resbalar y caer por fundición. Tres por ciento del área de la superficie total o pérdida total con posibilidad de derrumbarse.

SELENA trabaja bajo la plataforma Matlab, contiene 23 archivos (*.m), que son ejecutados de manera consecutiva durante la secuencia del programa. Las funciones respectivas y tareas son descritas brevemente a continuación:

Tabla 4. Descripción de los comandos que utiliza SELENA

Comando	Descripción
selena.m	Archivo núcleo
startwin.m	Inicialización del ambiente Windows que permite elegir entre el método probabilístico, determinista o el análisis en tiempo real.
dettool.m	Inicializa el entorno de ventanas para un análisis determinista.

probtool.m	Inicializa el entorno de ventanas para un análisis probabilístico
realtool.m	Archivo de función para inicializar el entorno de ventanas para un análisis con datos en tiempo real (escenario de la red patrón de agitación)
computetool.m	Inicia los procesos principales de un cálculo del riesgo sísmico de un terremoto determinista
computetoolp.m	Inicia los procesos principales de un cálculo de riesgo sísmico sobre la base de un mapa probabilístico
computetoolr.m	Inicia los procesos principales de un cálculo de riesgo sísmico sobre la base de datos en tiempo real
gmotion.m	Recibe el movimiento del suelo en el centro de cada unidad geográfica de un terremoto determinista (numerosas relaciones de atenuación se proporcionan, mientras que las nuevas relaciones de atenuación se puede implementar fácilmente) y calcula la amplificación del suelo
att_sub.m	Archivo con las relaciones de atenuación de diferentes autores que proporciona los valores de movimiento de tierra
dtorry.m	Archivo que se utiliza para calcular la distancia más cercana desde un punto (latitud, longitud) a un segmento (lat1, lon1)-(LAT2, Lon2)
gmotionp.m	Archivo de que amplifica el movimiento del suelo en el centro de cada unidad geográfica de los mapas probabilísticos temblorosas
damagep.m	Archivo que calcula la probabilidad de daño de viviendas utilizando el método del espectro de capacidad
gridtogeounit.m	Archivo de selección de los nodos, lo que hace una evaluación estadística de las coordenadas del movimiento sísmico (valor medio, desviación estándar), y asignarlos a los centroídes de las secciones censales
spectralshape.m	Calcula de movimiento de la superficie espectral
madrs.m	Rendimiento de cálculo de punto mediante el uso de la modificación de aceleración-desplazamiento del espectro
effdamping.mat	Coefficientes que contienen 'A' a 'F' depende de la rigidez post-elástica con el fin de calcular la amortiguación basado en un modelo de la rigidez elástico degradantes.
effperiod.mat	Contiene 'G' coeficientes de 'L' depende de la rigidez post-elástica con

	el fin de calcular un modelo de rigidez elástica degradantes
squaredam.m	Calcula los metros cuadrados de área absoluta dañada construida para cada tipo de construcción de los modelos en cada unidad geográfica
numdam.m	Calcula el número total de edificios dañados para cada tipo de construcción del modelo en cada unidad geográfica
losssqm.m	Calcula el total de pérdidas económicas debido a los daños estructurales
tree.m	Archivo que utiliza para ajustar los resultados de la estimación de daños provenientes de cada rama del árbol lógico de una función de distribución normal, calcula el promedio (media), el valor y el 16% y 84%
treeloss.m	Se utiliza para ajustar los resultados por pérdidas económicas que provienen de cada rama del árbol de la lógica de una función de distribución normal, calcula el promedio(media) el valor y el 16% y 84%
fitnorm.m	Calcula la media y la varianza de un conjunto de datos y los intervalos de confianza, los cuales se obtienen utilizando la distribución T de Student para un alfa elegido (0,16 y 0,84)
humanloss.m	Calcula el número de víctimas humanas

Para ejecutar SELENA, un cierto número de archivos que contienen los datos de entrada necesitan ser preparados. Estos archivos de entrada tienen que estar disponibles en la carpeta de "input".

Los archivos de entrada necesitan ser preparados en formato ASCII, y entregados en archivos simple de texto (*.txt). Además, un cierto número de archivos de entrada son necesarios, que contienen valores de parámetros fijos, o que además incluyen valores espectrales de aceleraciones y desplazamiento de las curvas de capacidad singulares. Archivos de entrada que contienen valores de parámetros, generalmente no serán modificados por el usuario y deben dejarse tal cual son.

4.1.1 Archivos de entrada para el Análisis Probabilístico

Para este tipo de análisis, son requeridos 5 diferentes tipos de archivo.

- *earthquake.txt*
- *soilfiles.txt*
- *attenuation.txt*
- *vulnerfiles.txt*
- *ecfiles.txt*

4.1.2 Archivos de entrada para el Análisis Determinístico

Para este tipo de análisis, se requiere 4 diferentes tipos de archivos.

- *shakefiles.txt*
- *soilfiles.txt*
- *vulnerfiles.txt*
- *ecfiles.txt*

4.1.3 Archivos de entrada para el Análisis en Tiempo Real

- *realtimefile.txt*
- *soilfiles.txt* = *soilcenter(i).txt*
- *vulnerfiles.txt* = (*capacity(i)* and *fragility(i)*).*txt*
- *ecfiles.txt* = (*elosssd(i).txt* (slight damage), *elossmd(i).txt* (moderate damage), *elossed(i).txt* (extensive damage), and *elosscd(i).txt* (complete damage)).

4.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.

Para la evaluación de una amenaza, se debe tomar en cuenta que ésta es posible por la ocurrencia de un fenómeno físico de origen natural, antrópicos, tecnológico, etc., que puede manifestarse en un sitio y en un tiempo determinado.

Debido a lo complejo de la naturaleza y del comportamiento de los fenómenos naturales y la cantidad de variables implicadas en el actuar de un fenómeno natural, se hace muchas veces difícil el modelar de manera precisa los mecanismos generadores de estos sistemas y en consecuencia de la amenaza y la vulnerabilidad.

Es por esto que estas evaluaciones se llevan a cabo combinando el análisis probabilístico con el comportamiento físico de las fuentes generadoras, mediante datos de eventos ocurridos en el pasado y tratando, mediante los modelos de aproximarse al comportamiento del fenómeno y sus efectos.

Esto quiere decir que para poder cuantificar la probabilidad de que se presente un evento de una u otra intensidad durante un período de exposición, es necesario contar con información, la más completa posible, acerca del número de eventos que han ocurrido en el pasado y acerca de la intensidad que tuvieron los mismos.

El comportamiento dinámico del suelo debido a ambientes geológicos, es una variable básica a tomar en cuenta, ya que la identificación de lugares donde se da amplificación de ondas durante un sismo, es muy importante para los gobiernos locales e instituciones encargadas de la planificación del desarrollo urbano, esto permite elaborar políticas orientadas hacia la prevención de desastres generados por el movimiento del suelo.

Para el planteamiento de la sismicidad a futuro, se realizó una simulación de un evento sísmico el cual no se ha presentado pero que existe la probabilidad de que sucedan debido a la historia sísmica y al resultado de estudios en los cuales se plantean la existencia y evidencia de que se genere un sismo, de considerables dimensiones del cual su ubicación y magnitud se puede mencionar y a partir de esto crear la simulación del escenario o de los escenarios sísmicos.

Como se mencionó anteriormente existen zonas identificadas como probables generadoras de eventos sísmicos, estas son las que ayudará a definir los escenarios para la simulación de la sismicidad a futuro y para ello se utilizó como mapa base el generado por la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos, ya que la metodología para identificar zonas seguras contiene información completa y detallada en la parte estructural (fallamiento), geológico y geomorfológico, esencial para aplicar la metodología.

PROCESO:

- Identificación el área de estudio: 3 Zonas identificadas con mayor deformación sismo-tectónica.

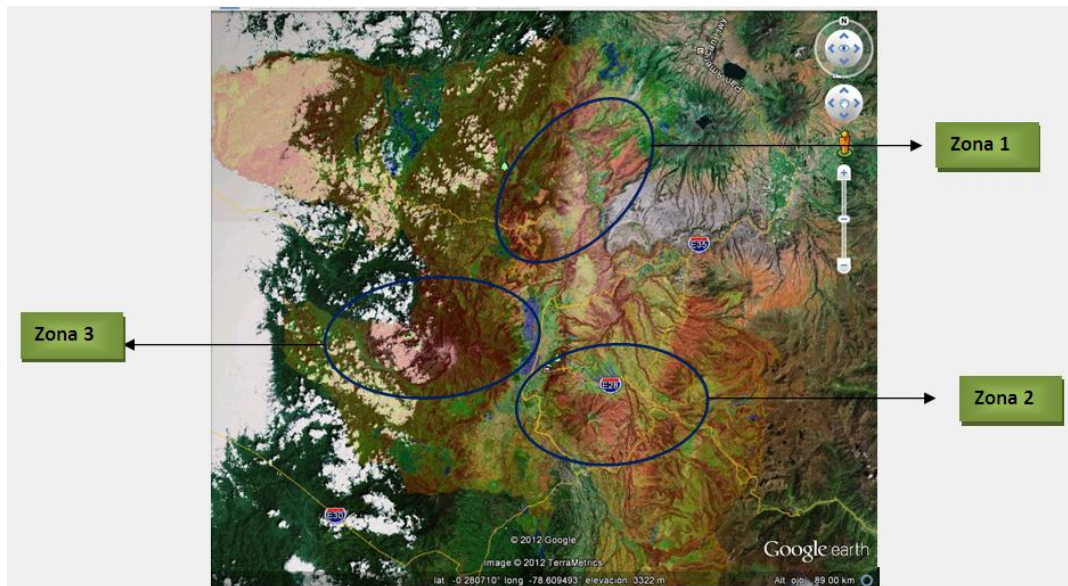


Figura 22. Delimitación de la Zona de Estudio

En las zonas con mayor deformación se trazaron 15 polígonos para facilitar el estudio de las características de cada una de ellas.

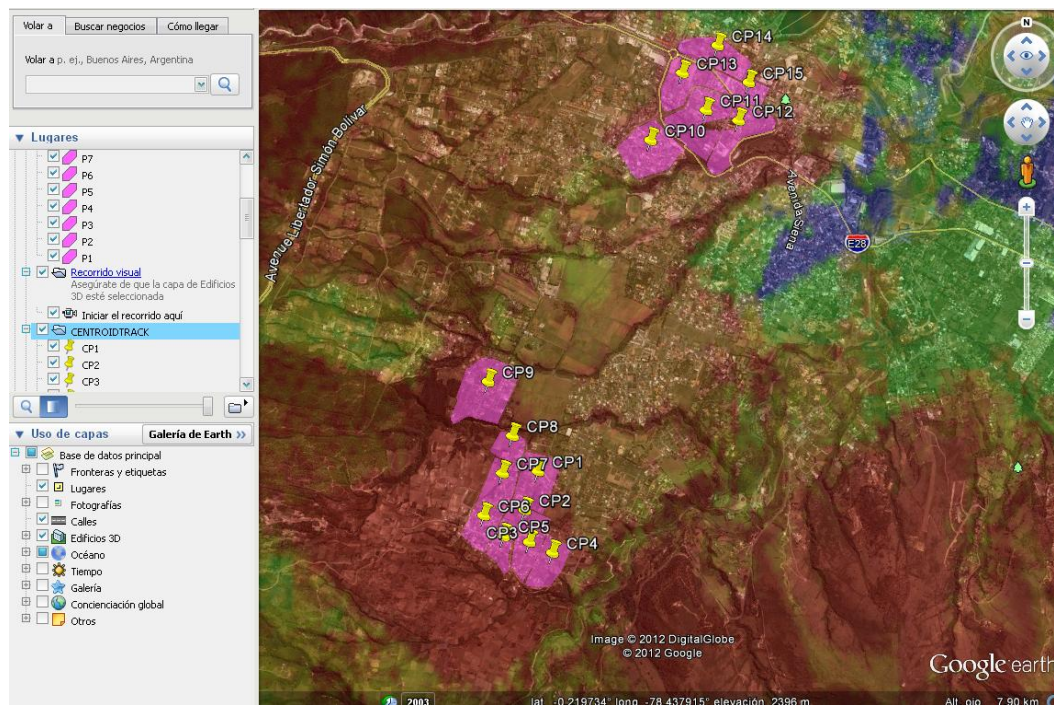


Figura 23. Zonas con la respectiva poligonación en zonas deformables

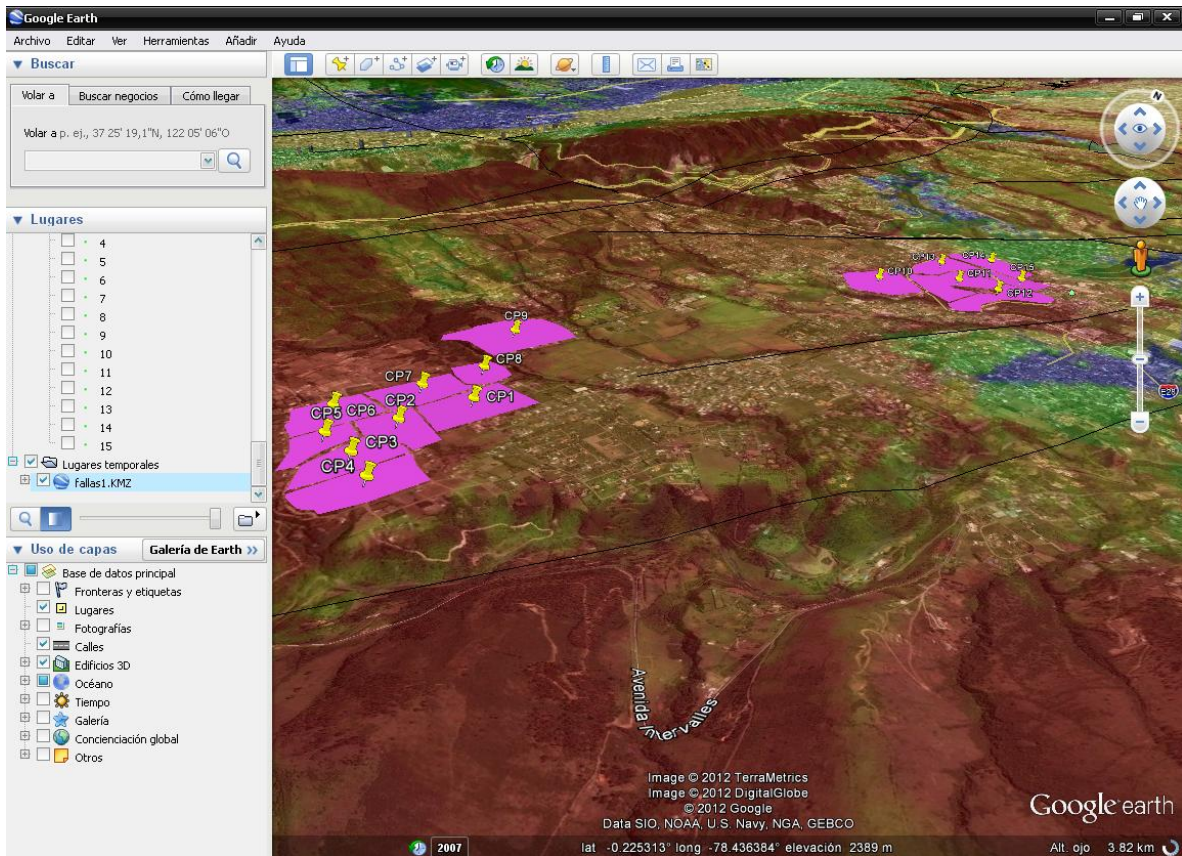


Figura 24. Vista en 3D de la poligonación en zonas deformables

Cada uno de estos polígonos contiene una base de datos con la información requerida por el programa. En la Figura se puede visualizar los polígonos trazados en las zonas de mayor deformación y las diferentes fallas geológicas que la atraviesan.

Nombre	Tamaño	Comprimido	Tipo	Modificado	CRC32
Carpeta					
..					
attenuation.txt	520	276	Documento de texto	07/11/2011 14:40	7599A432
builtarea.txt	183	109	Documento de texto	07/11/2011 14:44	6A76EA57
capacity1.txt	155	111	Documento de texto	07/11/2011 22:26	CA12278C
capacity3.txt	144	100	Documento de texto	07/11/2011 22:27	9604AAAF
dump.txt	140	11	Documento de texto	07/11/2011 14:51	0B017B56
earthquake.txt	723	365	Documento de texto	07/11/2011 17:14	4DB03C73
ecfiles.txt	120	48	Documento de texto	07/11/2011 14:56	79A6B42B
effdamping.txt	231	160	Documento de texto	07/11/2011 14:56	F5ACDEF1
effperiod.txt	265	163	Documento de texto	07/11/2011 14:56	C909D4DC
elossd1.txt	60	50	Documento de texto	07/11/2011 15:00	D823D12E
elossd2.txt	60	51	Documento de texto	07/11/2011 15:02	282FF87A
elossed1.txt	141	58	Documento de texto	07/11/2011 15:05	D83AFD60
elossed2.txt	59	51	Documento de texto	07/11/2011 15:06	3AF12D93
elossmd1.txt	50	46	Documento de texto	07/11/2011 15:07	4FE8AFFA
elossmd2.txt	56	49	Documento de texto	07/11/2011 15:09	8DA57EFD
elossd1.txt	55	49	Documento de texto	07/11/2011 15:14	8D9DFEE9
elossd2.txt	54	50	Documento de texto	07/11/2011 15:16	585457CC
fragility1.txt	141	106	Documento de texto	07/11/2011 22:31	11D26EB7
fragility3.txt	184	117	Documento de texto	07/11/2011 22:37	BBA2B061
HEADER.txt	29	29	Documento de texto	07/11/2011 22:37	2EA93478
headerocc.txt	45	25	Documento de texto	07/11/2011 22:38	862B23CA
injury1.txt	133	109	Documento de texto	07/11/2011 22:40	EAAC46D3
injury2.txt	127	109	Documento de texto	07/11/2011 15:42	F0E37A81
injury3.txt	130	108	Documento de texto	07/11/2011 22:41	B2DA0559
injury4.txt	132	109	Documento de texto	07/11/2011 22:42	0FB125E4
numbuild.txt	147	92	Documento de texto	07/11/2011 15:54	1F1043DC
ocupmbt1.txt	278	100	Documento de texto	07/11/2011 16:04	7ED91474
ocupmbtp.txt	48	43	Documento de texto	07/11/2011 16:06	18B5327C
poptime.txt	142	106	Documento de texto	07/11/2011 16:11	F273E2DB
population.txt	162	103	Documento de texto	07/11/2011 16:13	32BF9C7C
realtimefile.txt	24	24	Documento de texto	07/11/2011 16:14	E8A0A1D3
realtimegrid.txt	640	158	Documento de texto	07/11/2011 16:20	C8F88EAB
shakecenter1.txt	841	240	Documento de texto	07/11/2011 16:22	59B3FAA4
shakecenter2.txt	856	241	Documento de texto	07/11/2011 16:23	ECB76027
shakefiles.txt	54	36	Documento de texto	07/11/2011 16:26	2F415CE3
soilcenter1.txt	450	201	Documento de texto	07/11/2011 16:27	D98F674F
soilcenter2.txt	446	200	Documento de texto	07/11/2011 16:28	41C5AE1A

Figura 25. Ejemplo de la Base de Datos Utilizadas

Como se muestra en la figura, cada uno de los archivos de texto que contiene información requerida para ser introducidos y corridos en el programa SELENA

bajo la plataforma de MatLab, el cual sigue unos procesos lógicos obteniendo como resultado una carpeta de datos de salida que deben ser analizados.

A continuación se detalla la información de la base de datos utilizada:

- **Atenuación:**

Archivo de entrada que contiene las etiquetas de las distintas leyes de atenuación a ser usados en el estudio y sus pesos correspondientes para el árbol lógico.

0.7 22 322 1022

0.3 23 323 1023

Donde;

% Primera columna: El peso de la metodología del árbol lógico

% Segunda columna es la etiqueta para la ley de atenuación aplicada para determinar PGA

% Tercera columna es la etiqueta de la ley de atenuación para Sa a 0.3 s

% Cuarta columna es la etiqueta de la ley de atenuación para Sa a 1.0 s

- **Área de Construcción**

%CTRA C1M

0000000001 14495

0000000002 89321

0000000003 22752

0000000004 15751

0000000005 3456

0000000006 43245

0000000007 985

0000000008 3546

0000000009 1254

0000000010 5432

0000000011 3456

0000000012 2345

0000000013 7654

0000000014 2334

0000000015 2114

Donde;

% Primera columna CTRA, corresponde a cada unidad geográfica

% Segunda columna corresponde al valor de metros cuadrados aproximado para las viviendas construidas con hormigón armado.

- **Capacidad:**

%mbt dy(ord.) ay(ord.) du(ord.) au(ord.) k(ord/sh) k(ord/md) k(ord(lg))be fraction low-code

17 0.0074 0.5101 0.0879 1.5304 0.4 0.2 0 7 0 %C1M

Donde;

% Primera columna mbt: corresponde al número asignado en la tabla de tipología Hazus

% dy,ay,du,au,k,be, fraction: cada valor corresponde a los valores asignados por Hazus para las estructuras de hormigón armado.

- **Terremoto: Escenarios de sismos**

0.60 -0.13 -78.37 20.00 6.00 5.50 0.00 90.00 1 1

0.40 -2.98 -76.93 20.00 5.50 6.50 0.00 90.00 1 1

Donde;

%1era columna es el peso asignado

%2da columna es la latitud en grados

%3era columna es la longitud en grados

%4ta columna es la profundidad en km

%5ta columna es Ms magnitud

%6th columna es Mw magnitud

%7ma columna es la orientación de la falla en grados hacia el norte

%8va columna es el ángulo de buzamiento en grados

%9na columna es el mecanismo de la falla: Normal(1); Reversa(2); Todas(3)

%10ma columna es el código numérico para la forma espectral

- **Perdidas económicas:**

%C1M LABEL

1 5250.0 %RES1

2 3850.0 %EDU3

3 3850.0 %COM4

Donde;

% 1era columna es la numeración del tipo de ocupación de las viviendas. (Residencia, Educación y Comercial)

% 2da columna es aproximadamente el valor de pérdida económica para estructuras de hormigón para cada tipo de ocupación de las viviendas.

- **Fragilidad:**

%mbt smedian sbeta mmedian mbeta emedian ebeta cmedian cbeta Pre-Code
Seismic Design Level

17 0.0305 0.73 0.0488 0.77 0.1219 0.83 0.3048 0.98 %C1M

Donde;

1era columna mbt corresponde a la numeración de la tipología de construcción dada por Hazus:

smedian ,sbeta, mmedian, mbeta, emedian, ebeta, cmedian, cbeta, y Pre-Code corresponden a los datos Hazus para la tipología C1M de hormigón armado.

- ***Daño:***

Slight Moderate Extensive Complete CompleteCollapse Label (numbers in percentage)

1 0.05 0.20 1.00 10 50 %C1M

Donde;

%1era columna corresponde a la numeración de la tipología

%Slight, Moderate, Extensive, Complete, CompleteCollapse, Label corresponden a los valores generados por Hazus para estructuras de hormigón armado.

- ***Numero de Construcciones:***

%CTRA C1M

0000000001 33

0000000002 18

0000000003 48

0000000004 34

0000000005 36

0000000006 85

0000000007 65

0000000008 12

0000000009 83

0000000010 140

0000000011 151

0000000012 122

0000000013 79

0000000014 102

0000000015 92

Donde;

1era columna corresponde a la numeración de cada unidad geográfica

2da columna corresponde a el valor aproximado del número de construcciones para cada unidad geográfica.

- **Ocupancia:**

%CTRA RES1 EDU3 COM4

0000000001 2455 1603 0

0000000002 31865 109 0

0000000003 1368 144 0

0000000004 368 9670 0

0000000005 3252 5454 200

0000000006 500 400 300

0000000007 2541 254 254

0000000008 546 200 600

0000000009 600 200 200

0000000010 600 200 200

0000000011 600 200 200

0000000012 550 200 250

0000000013 410 200 200

0000000014 100 900 100

0000000015 600 200 100

Donde;

%1era columna corresponde a la numeración de cada unidad geográfica

%2da columna corresponde a los valores aproximados para el número de personas que viven en cada tipo de unidad geográfica residencial

%3ra columna corresponde a los valores aproximados para el número de personas que viven en cada tipo de unidad geográfica de educación.

%4ta columna corresponde a los valores aproximados para el número de personas que viven en cada tipo de unidad geográfica comercial.

- **Población:**

%CTRA POPULATION

0000000001 4125

0000000002 235

0000000003 304

0000000004 160

0000000005 144

0000000006 340

0000000007 325

0000000008 48

0000000009 332

0000000010 560

0000000011 604

0000000012 488

0000000013 474

0000000014 2040

0000000015 920

Donde;

%1era columna corresponde a la numeración de cada unidad geográfica

%2da columna corresponde al número aproximado de personas que habitan en cada una de estas unidades geográficas.

- **Movimiento Central:**

%CTRA LATITUDE LONGITUDE SOIL PGA SA0_3 SA1_0

0000000001 -0.228178 -78.446910 4 0.299 0.2548 0.316 0.0866

0000000002 -0.230871 -78.447810 4 0.299 0.2548 0.316 0.0866

0000000003 -0.233145 -78.447520 4 0.299 0.2548 0.316 0.0866

0000000004 -0.233918 -78.445910 4 0.299 0.2548 0.316 0.0866
0000000005 -0.232703 -78.449310 4 0.299 0.2548 0.316 0.0866
0000000006 -0.231239 -78.450678 4 0.299 0.2548 0.316 0.0866
0000000007 -0.228297 -78.449394 4 0.299 0.2548 0.316 0.0866
0000000008 -0.225688 -78.448708 4 0.299 0.2548 0.316 0.0866
0000000009 -0.221890 -78.450404 4 0.299 0.2548 0.316 0.0866
0000000010 -0.204880 -78.439013 5 0.299 0.2548 0.316 0.0866
0000000011 -0.202711 -78.435079 5 0.299 0.2548 0.316 0.0866
0000000012 -0.203417 -78.432770 5 0.299 0.2548 0.316 0.0866
0000000013 -0.200128 -78.436760 5 0.299 0.2548 0.316 0.0866
0000000014 -0.198169 -78.434260 5 0.299 0.2548 0.316 0.0866
0000000015 -0.200710 -78.432035 5 0.299 0.2548 0.316 0.0866

Donde;

% 1era columna corresponde a la numeración de cada unidad geográfica

% 2da columna corresponde a la longitud del centroide de cada unidad geográfica

%3era columna corresponde a la latitud del centroide de cada unidad geográfica

%4ta columna corresponde al valor de tipo de suelo

%5ta columna corresponde al valor para determinar PGA

%6ta columna corresponde al valor de aceleración para Sa a 0.3 s

%7ma columna corresponde al valor de aceleración para Sa a 0.1 s

- **Suelo:**

%CTRA LATITUDE LONGITUDE SOIL

0000000001 -0.228178 -78.446917 4

0000000002 -0.230871 -78.447819 4

0000000003 -0.233145 -78.447528 4

0000000004 -0.233918 -78.445918 4

0000000005 -0.232703 -78.449310 4

0000000006 -0.231239 -78.450678 4

0000000007 -0.228297 -78.449394 4

0000000008 -0.225688 -78.448708 4

0000000009 -0.221890 -78.450404 4

0000000010 -0.204880 -78.439013 5

0000000011 -0.202711 -78.435079 5

0000000012 -0.203417 -78.432770 5

0000000013 -0.200128 -78.436760 5

0000000014 -0.198169 -78.434260 5

0000000015 -0.200710 -78.432035 5

Donde;

%1era columna corresponde a la numeración de cada unidad geográfica

%2da columna corresponde a longitud

%3era columna corresponde a la latitud

%4ta columna corresponde al valor del tipo de suelo.

Para correr los datos, se ha utilizado un análisis Probabilístico, puesto que estamos simulando escenarios sísmicos.

El programa arroja resultados siguiendo un proceso de árbol lógico, con todas las opciones y parámetros de entrada sujetos a variabilidad, es decir que asigna un conjunto de pesos (o probabilidades) a las diferentes ramas del árbol lógico (que materializan distintas opciones de entrada). En la figura muestra la estructura del árbol lógico; cada rama tiene un peso asignado para calcular los valores esperados.

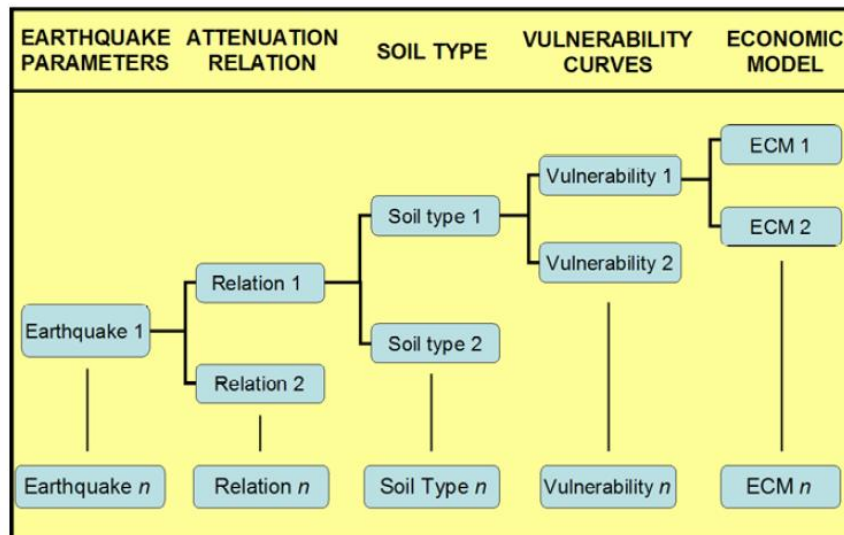


Figura 26. Estructura del árbol lógico

4.3 RESULTADOS:

Por defecto el programa arroja 8 resultados, los cuales son mostrados a continuación:

PROB 1

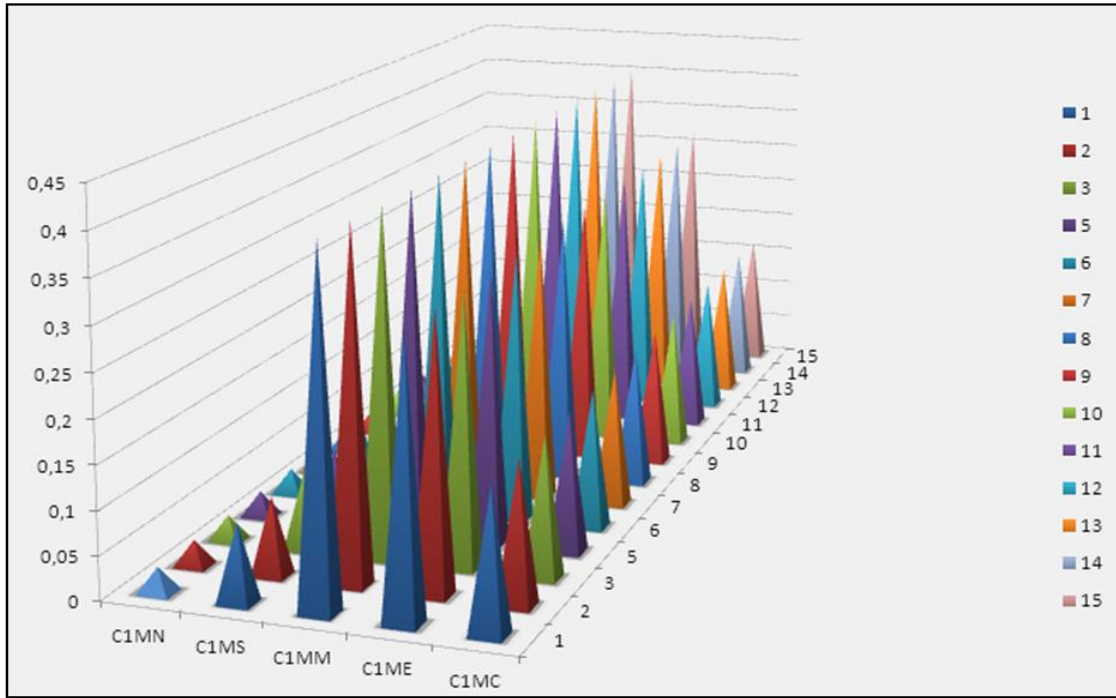
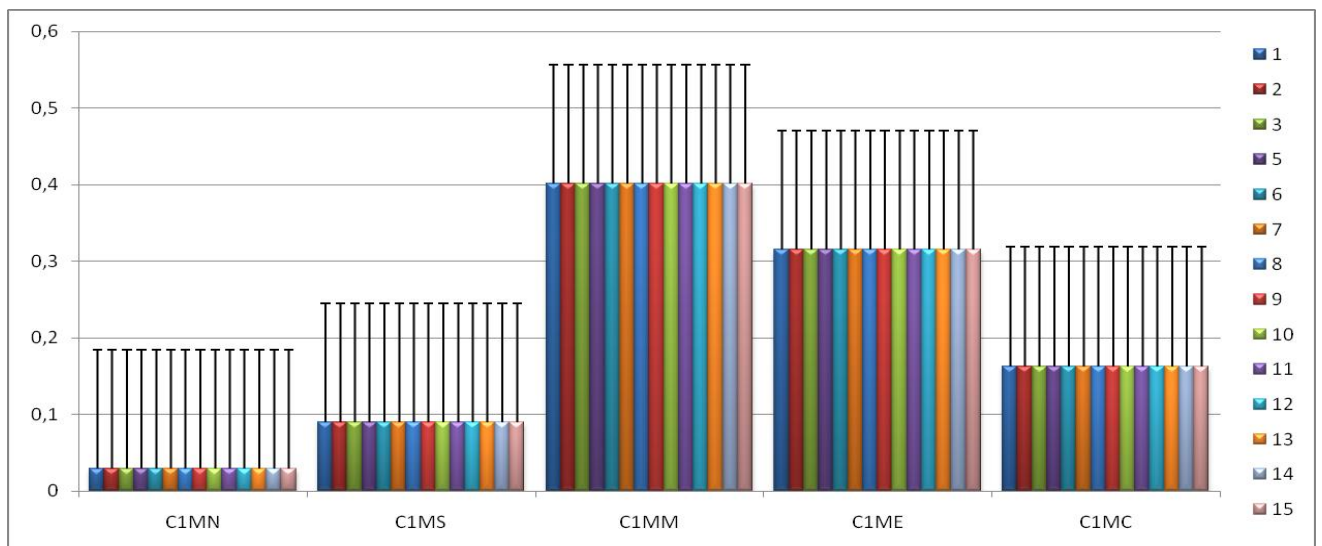


Figura 27. Estimación de daño (leve, poco, mediano, extensivo y completo) para estructuras de Hormigón armado para los 15 polígonos



RESULTADO 1: Se puede visualizar que para los 15 polígonos, con una estructura de hormigón armado existe una probabilidad de daño Moderado, con tendencia a extensivo, es decir posibles grietas en las esquinas de las puertas y ventanas, pequeñas grietas diagonales en los muros, grandes grietas en las chimeneas de ladrillo, caída de chimeneas de mampostería de altura.

PROB 2

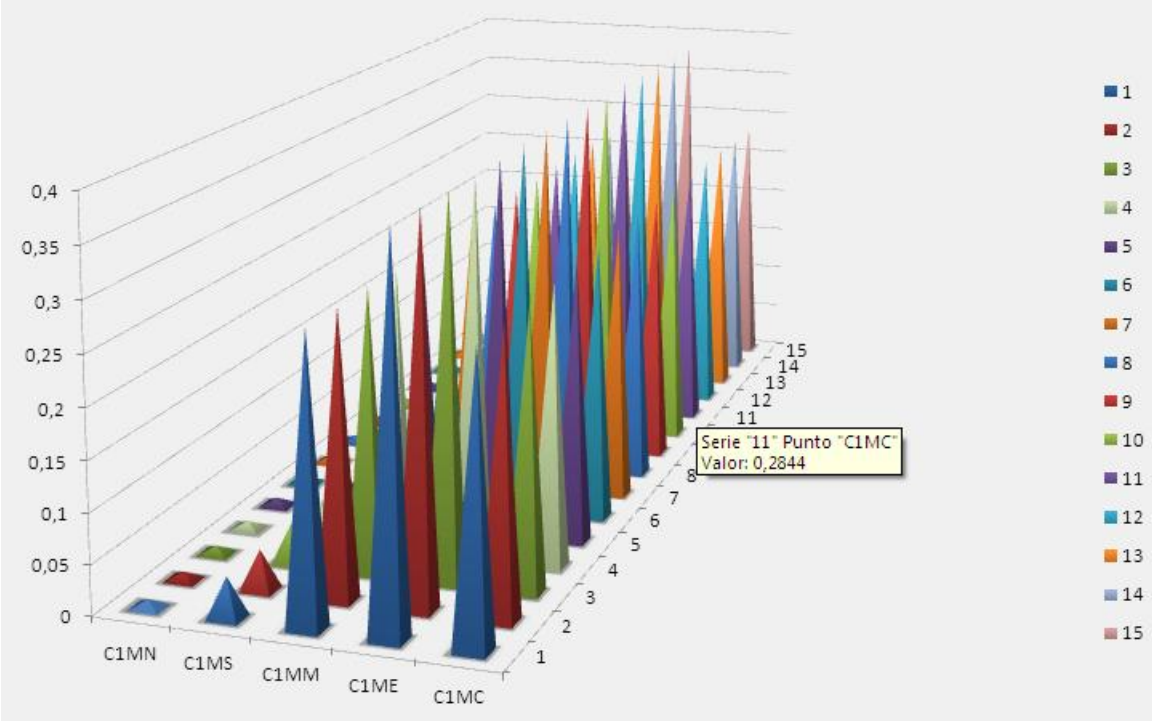
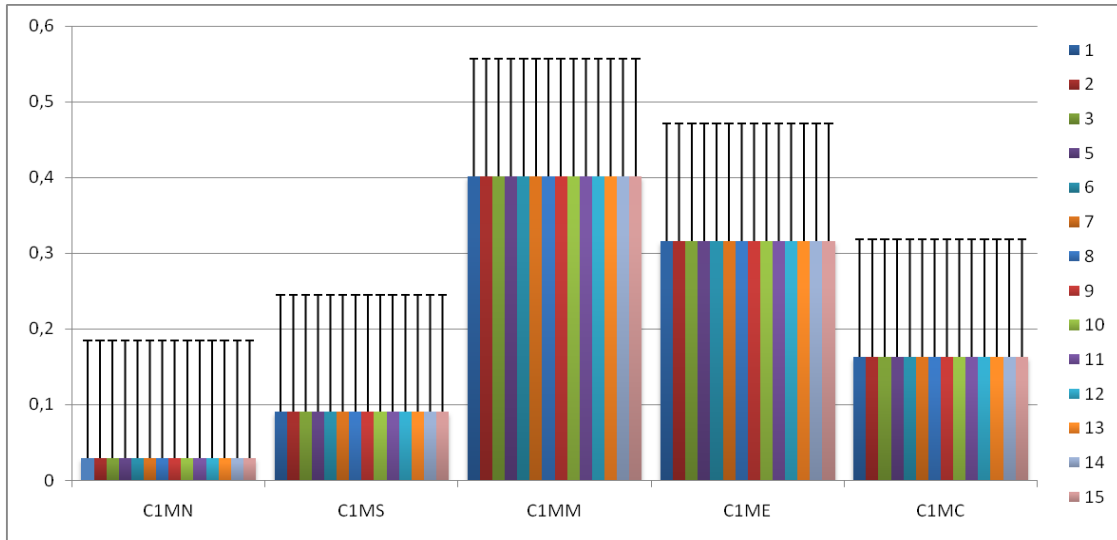


Figura 28. Estimación de daño (ninguno, leve, mediano, extensivo y completo) para estructuras de Hormigón armado para los 15 polígonos



Resultado 2: Se visualiza que para los 15 polígonos, con una estructura de hormigón armado existe una probabilidad de daño Moderado, con tendencia a extensivo, es decir posibles grietas en las esquinas de las puertas y ventanas, pequeñas grietas diagonales en los muros, grandes grietas en las chimeneas de ladrillo, caída de chimeneas de mampostería de altura.

PROB 3

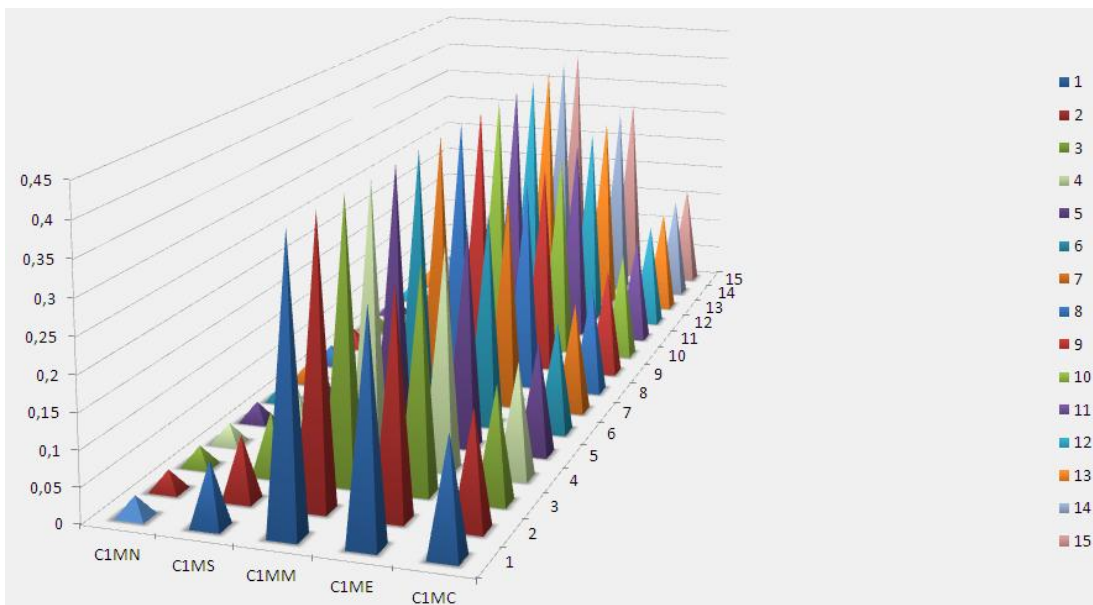
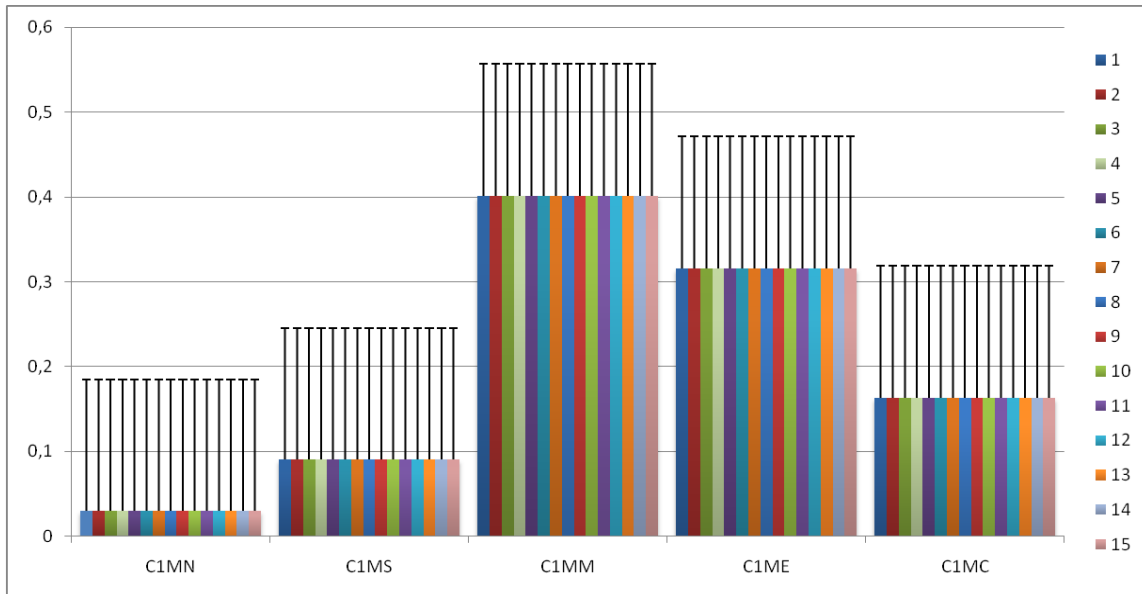


Figura 29. Estimación de daño (ninguno, leve, mediano, extensivo y completo) para estructuras de Hormigón armado para los 15 polígonos



Resultado 3: Se visualiza que para los 15 polígonos, con una estructura de hormigón armado existe una probabilidad de daño Moderado, con mayor tendencia a extensivo, es decir posibles grietas en las esquinas de las puertas y ventanas, pequeñas grietas diagonales en los muros, grandes grietas en las chimeneas de ladrillo, caída de chimeneas de mampostería de altura.

PROB 4

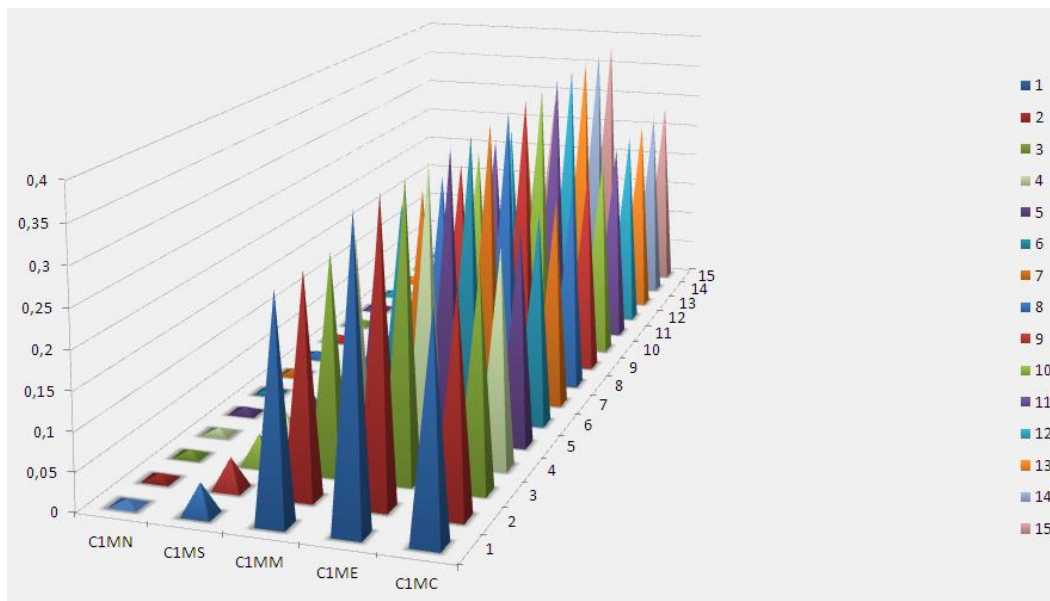
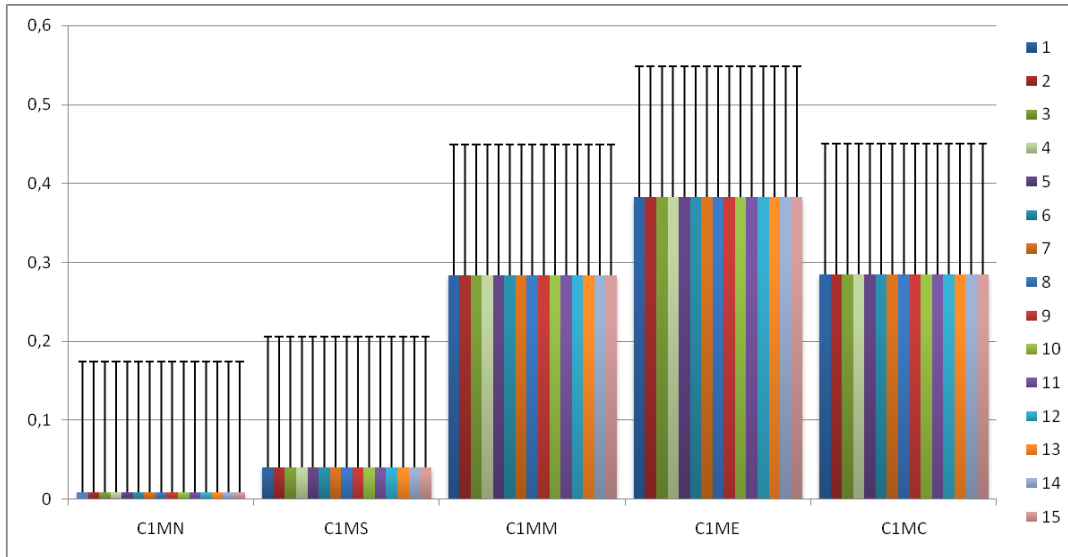


Figura 30. Estimación de daño (ninguno, leve, mediano, extensivo y completo) para estructuras de Hormigón armado para los 15 polígonos



Resultado 4: Se visualiza que para los 15 polígonos, con una estructura de hormigón armado que existe una probabilidad de daño Extensivo, con tendencia a completo, es decir grandes grietas diagonales a través de las paredes, el movimiento lateral permanente de pisos y el techo, caída de chimeneas de ladrillo, grietas en los cimientos, y deslizamiento de la estructura sobre cimientos.

PROB 5

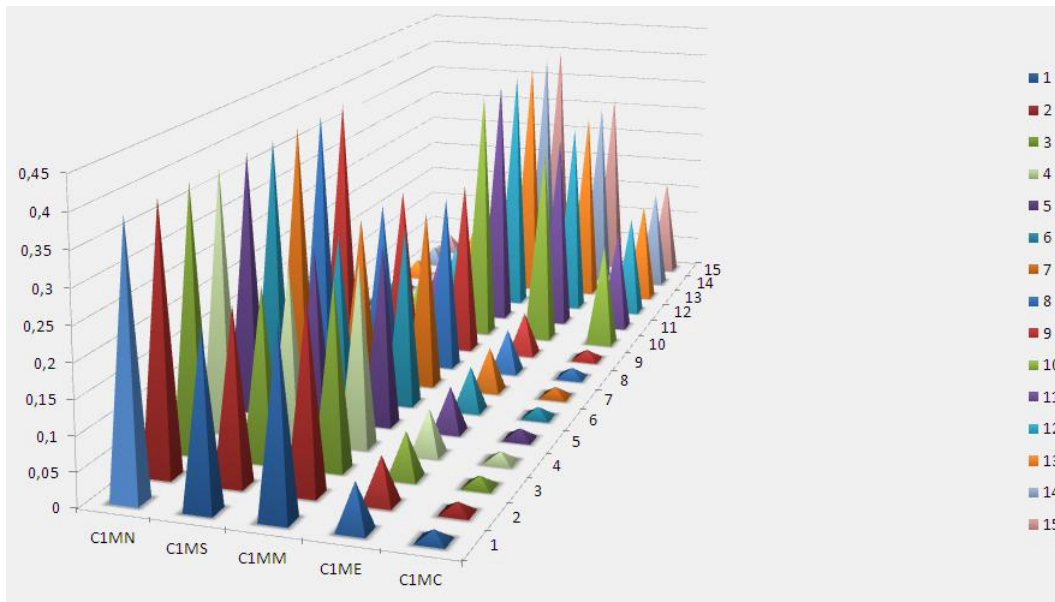
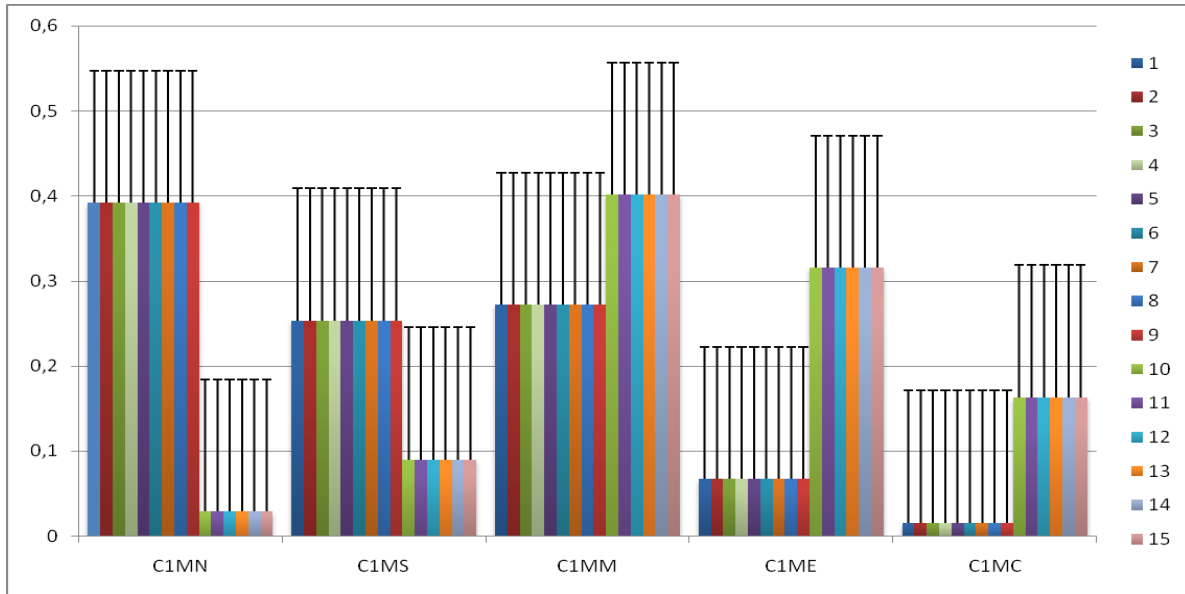


Figura 31. Estimación de daño (ninguno, leve, mediano, extensivo y completo) para estructuras de Hormigón armado para los 15 polígonos.



Resultado 5: Se visualiza que para 9 polígonos que corresponden al Sur-Oriente de Quito, con una estructura de hormigón armado, que tiene un tipo de suelo limoso, con presencia de arena fina y a veces con incremento de arcilla en su profundidad (humedad), no existe una probabilidad de daño.

En los siguientes 6 polígonos que corresponden al Sector del valle de Cumbayá con estructuras de hormigón armado y un tipo de suelo limoso con presencia de arena fina y a veces con incremento de arcilla en su profundidad (seco), existe una probabilidad de daño Moderado con tendencia a extensivo, es decir posibles grietas en las esquinas de las puertas y ventanas, pequeñas grietas diagonales en los muros, grandes grietas en las chimeneas de ladrillo, caída de chimeneas de mampostería de altura.

PROB 6

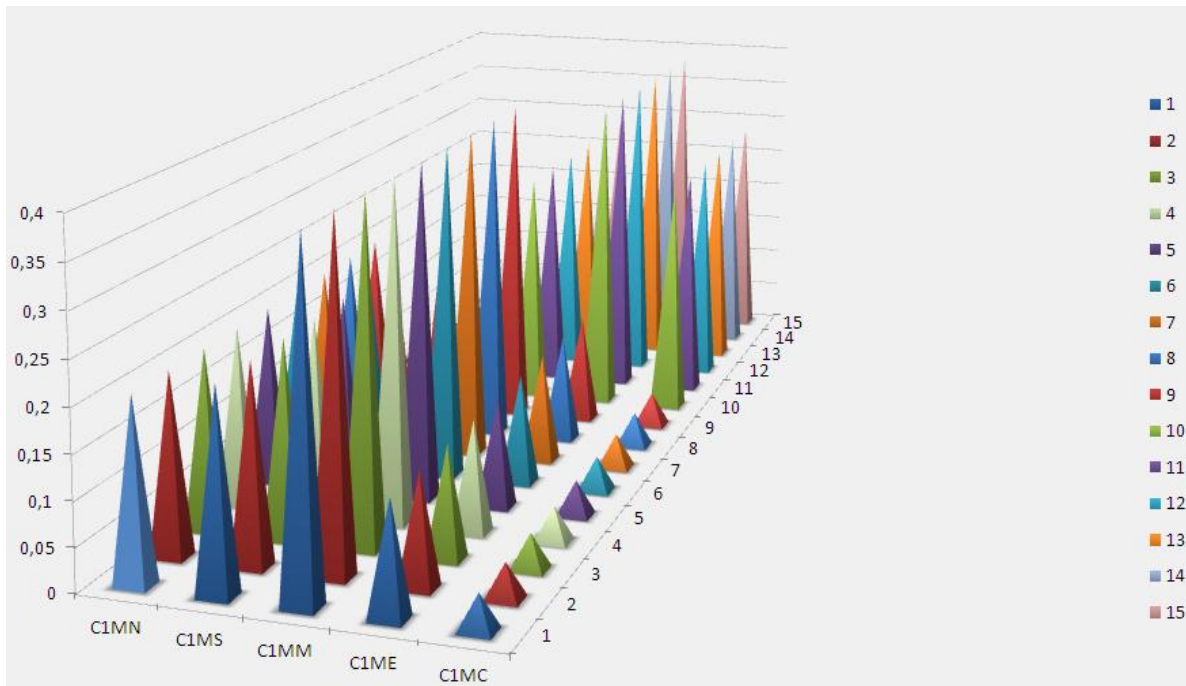
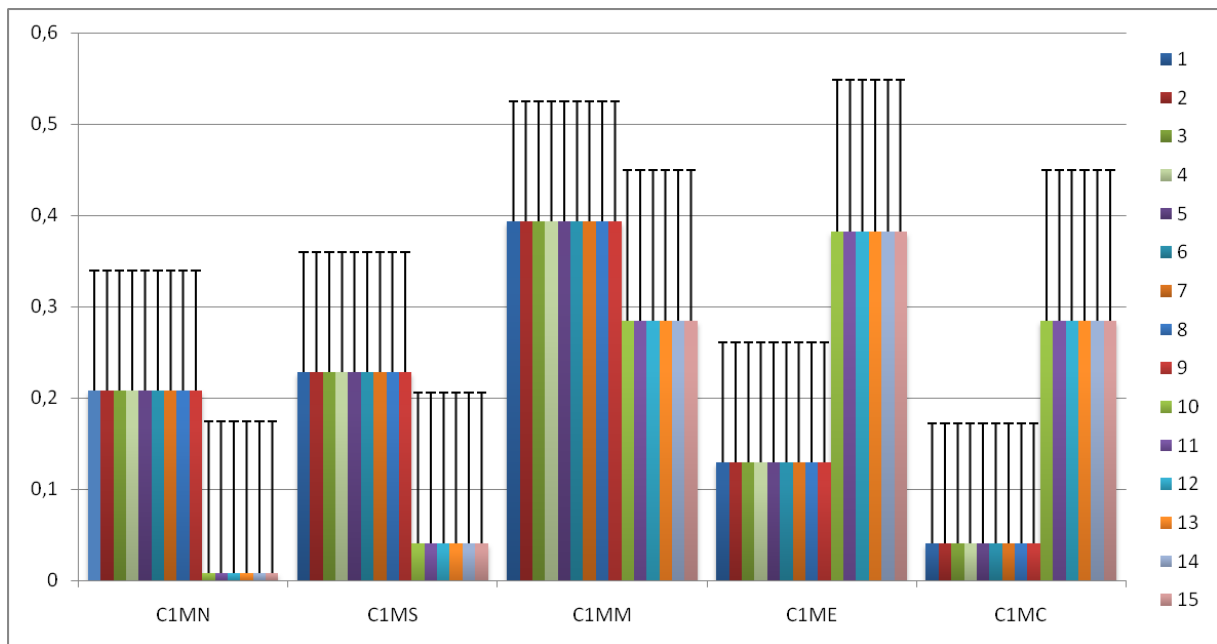


Figura 32. Estimación de daño (ninguno, leve, mediano, extensivo y completo) para estructuras de Hormigón armado para los 15 polígonos



Resultado 6: Se visualiza que para 9 polígonos que corresponden al Sur-Oriente de Quito, con una estructura de hormigón armado, que tiene un tipo de suelo limoso, con presencia de arena fina y a veces con incremento de arcilla en su profundidad (humedad), no existe una probabilidad de daño, con una tendencia a ser moderada.

En los siguientes 6 polígonos que corresponden al Sector del valle de Cumbayá con estructuras de hormigón armado y un tipo de suelo limoso con presencia de arena fina y a veces con incremento de arcilla en su profundidad (seco), existe una probabilidad de daño Extensivo con tendencia a Completo, es decir la estructura puede tener gran desplazamiento lateral permanente, estar en peligro inminente de colapso o en fracaso por el sistema de resistencia de carga lateral, algunas estructuras pueden resbalar y caer por fundición. Tres por ciento del área de la superficie total o pérdida total con posibilidad de derrumbarse.

PROB 7

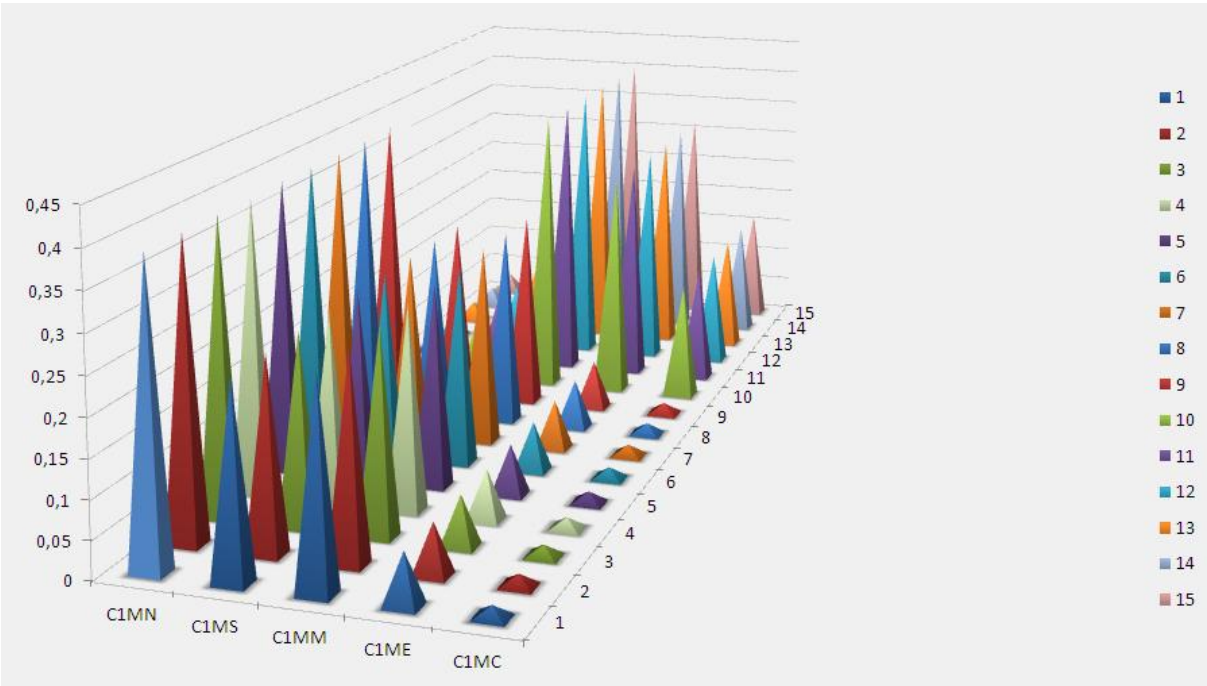
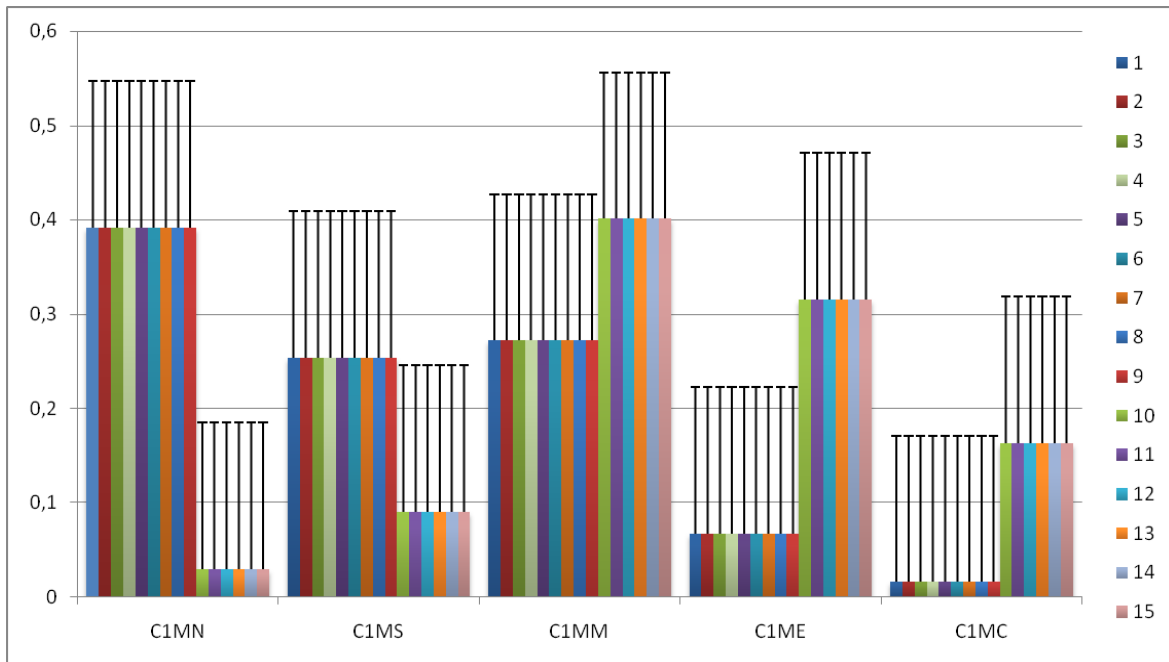


Figura 33. Estimación de daño (ninguno, leve, mediano, extensivo y completo) para estructuras de Hormigón armado para los 15 polígonos



Respuesta 7: Se visualiza que para 9 polígonos que corresponden al Sur-Oriente de Quito, con una estructura de hormigón armado, que tiene un tipo de suelo limoso, con presencia de arena fina y a veces con incremento de arcilla en su profundidad (humedad), no existe una probabilidad de daño.

En los siguientes 6 polígonos que corresponden al Sector del valle de Cumbayá con estructuras de hormigón armado y un tipo de suelo limoso con presencia de arena fina y a veces con incremento de arcilla en su profundidad (seco), existe una probabilidad de daño Moderado, con tendencia a extensivo es decir, grietas en las esquinas de las puertas y ventanas, pequeñas grietas diagonales en los muros, grandes grietas en las chimeneas de ladrillo, caída de chimeneas de mampostería de altura.

PROB 8

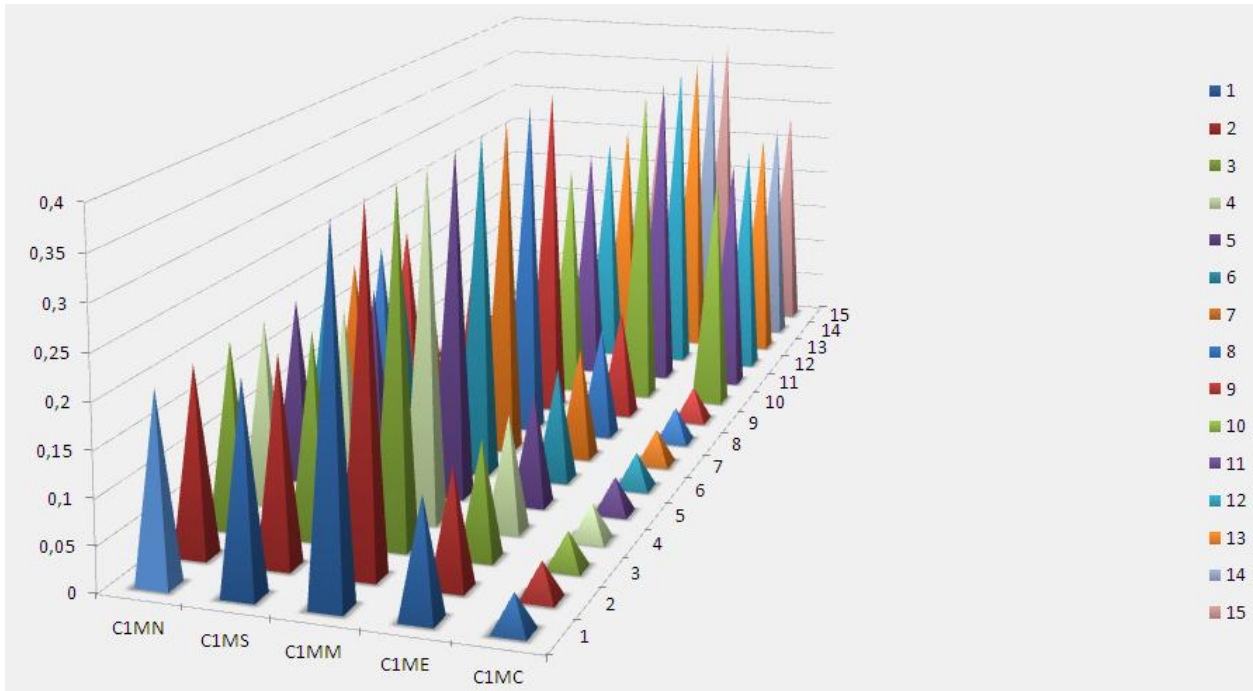
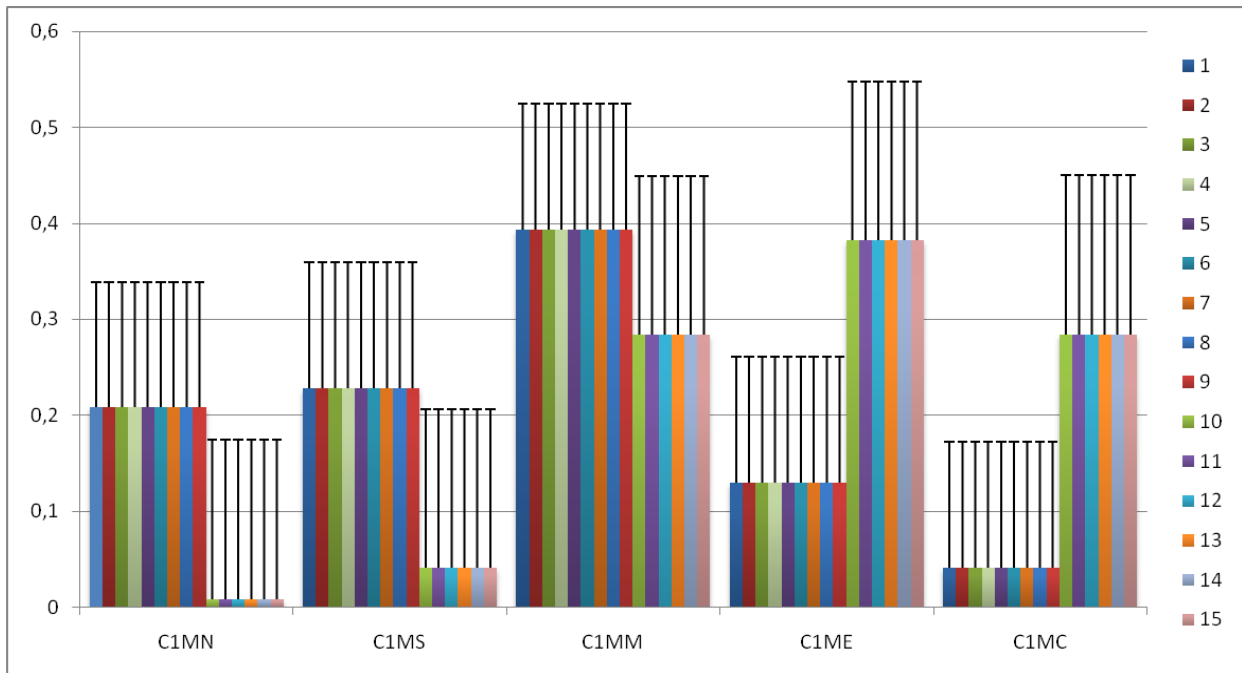


Figura 34. Estimación de daño (ninguno, leve, mediano, extensivo y completo) para estructuras de Hormigón armado para los 15 polígonos



Respuesta 8: Se visualiza que para 9 polígonos que corresponden al Sur-Oriente de Quito, con una estructura de hormigón armado, que tiene un tipo de suelo limoso, con presencia de arena fina y a veces con incremento de arcilla en su profundidad (humedad), existe una probabilidad de daño Moderado.

En los siguientes 6 polígonos que corresponden al Sector del valle de Cumbayá con estructuras de hormigón armado y un tipo de suelo limoso con presencia de arena fina y a veces con incremento de arcilla en su profundidad (seco), existe una probabilidad de daño Moderado, con tendencia a extensivo es decir, grietas en las esquinas de las puertas y ventanas, pequeñas grietas diagonales en los muros, grandes grietas en las chimeneas de ladrillo, caída de chimeneas de mampostería de altura.

Hazus – Selena propone cinco posibles estados de daño: nulo, leve, moderado, severo o completo. El comportamiento el elemento si ha sufrido uno u otro daño viene descrito en función del daño producido en su estructura. Es una descripción de daños físicos y cuantificables. Sin embargo, en algunos casos Hazus utiliza términos poco claros como que un elemento puede sufrir daño considerable. Es pues en algunos puntos subjetivo.

En la figura siguiente se muestra, las zonas en la que se puede observar las diferentes amenazas por procesos de remoción en masa, que incluye el nivel de dañomoderado, por sismicidad, en las zonas de mayor deformación tectónica.

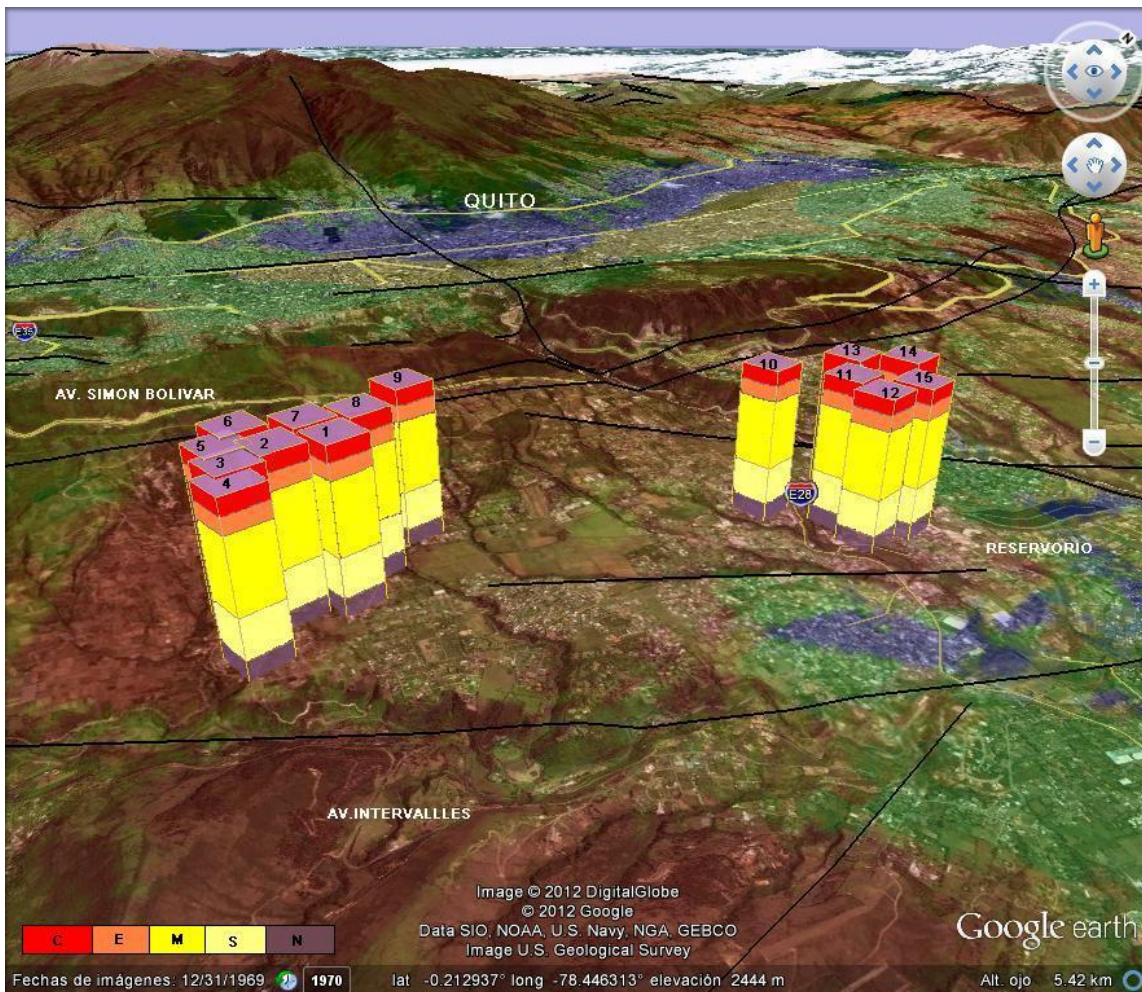
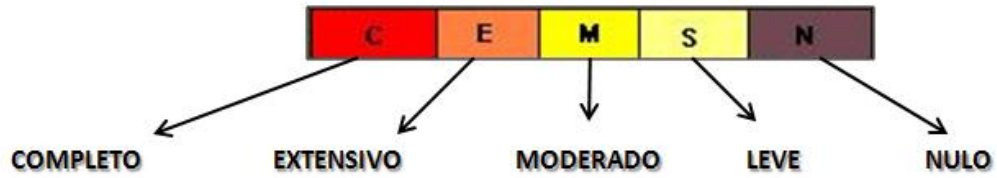


Figura 35. Zonas con estado de daño moderado para estructuras de hormigón armado.



Cada uno de los cilindros corresponde a los polígonos estudiados, que se encuentran sobre la cobertura de las zonas con mayor deformación sísmica. Es decir que las zonas en cada uno de estos cilindros, que posean viviendas con estructuras de hormigón armado, el nivel de daño es MODERADO, en un evento sísmico de 5.50-6.00° en la escala de Richter.

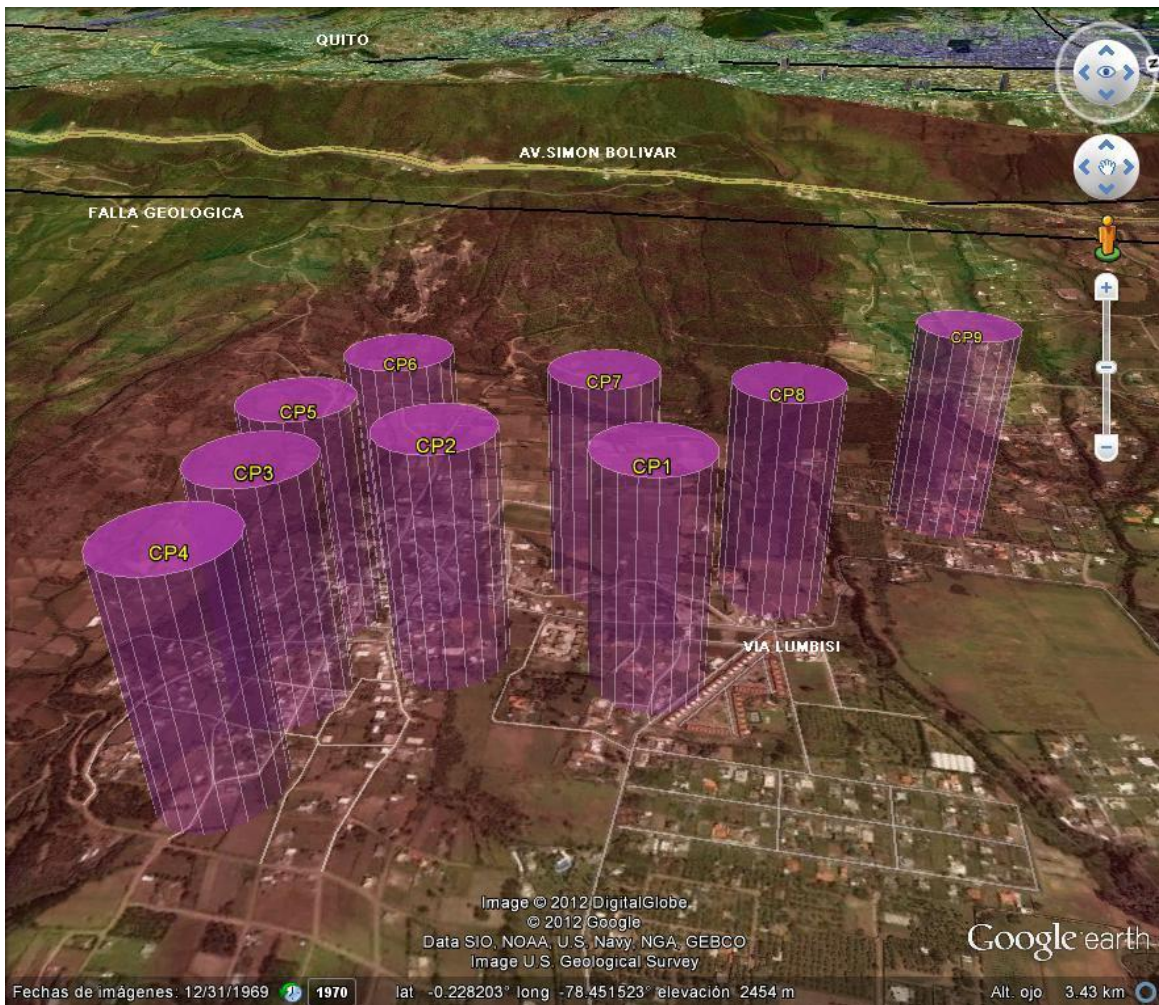


Figura 36. Zona Lumbisi.

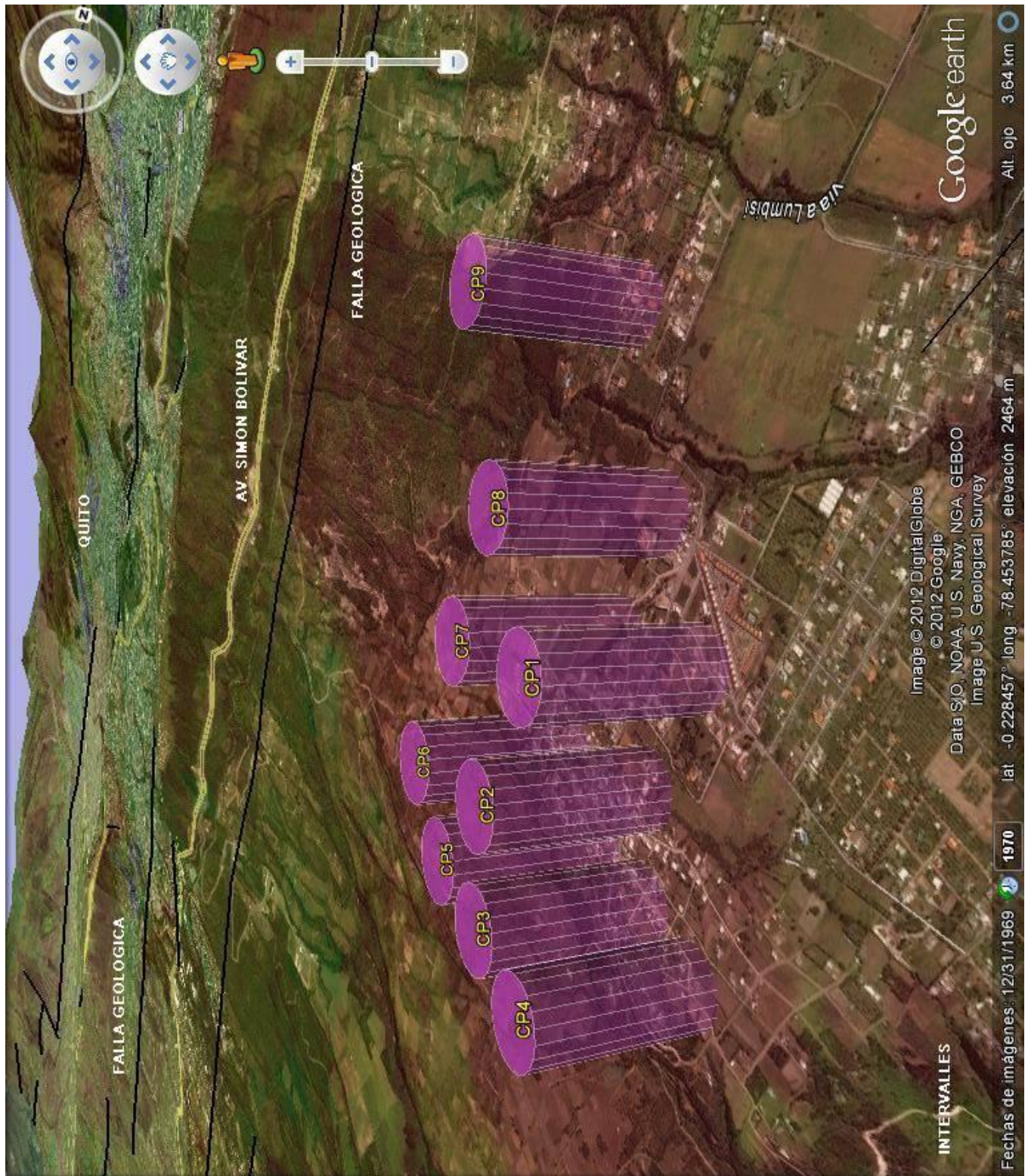


Figura 37. Zona Lumbisi. Vista Norte-Sur

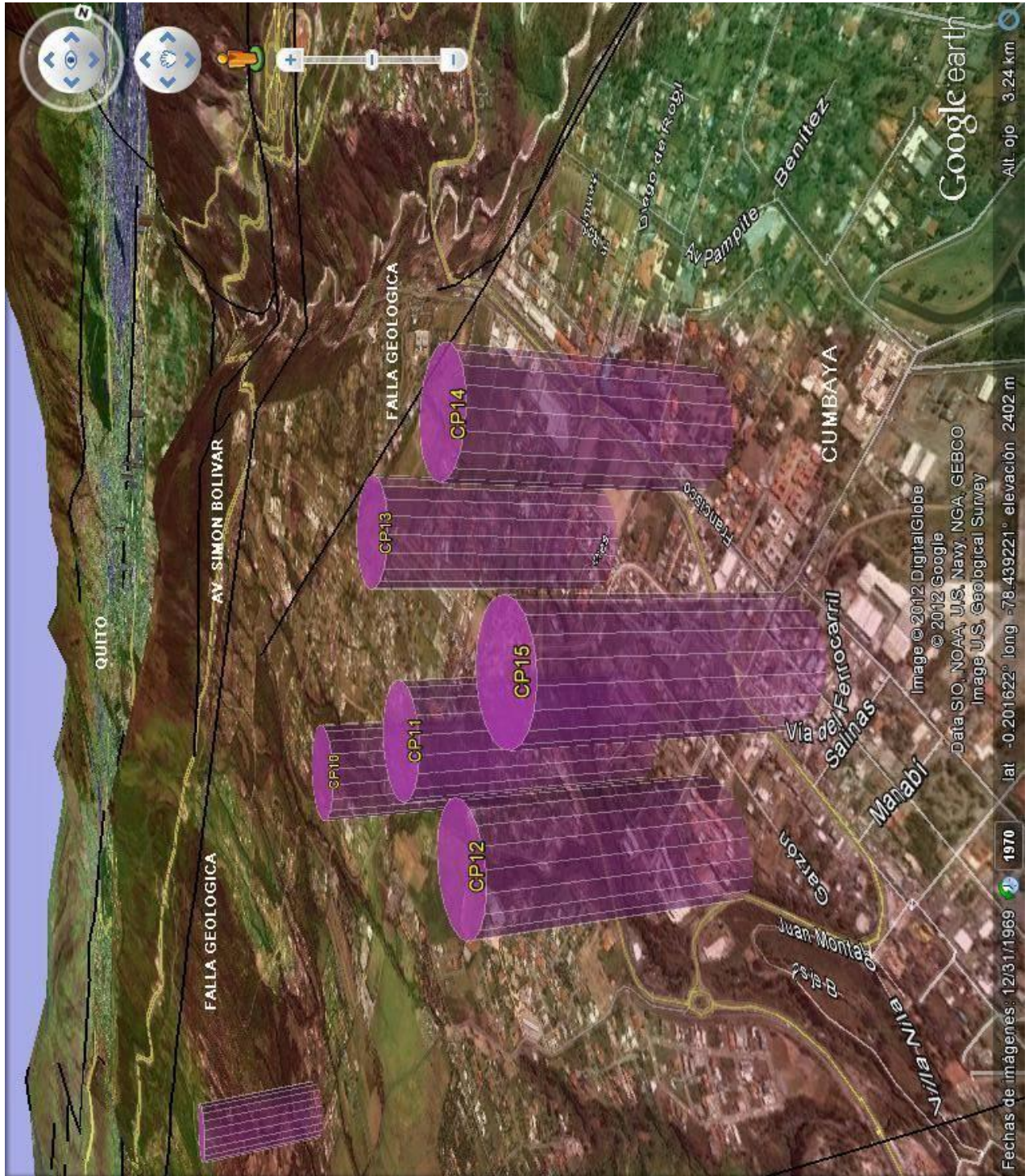


Figura 38. Zona Cumbayá.

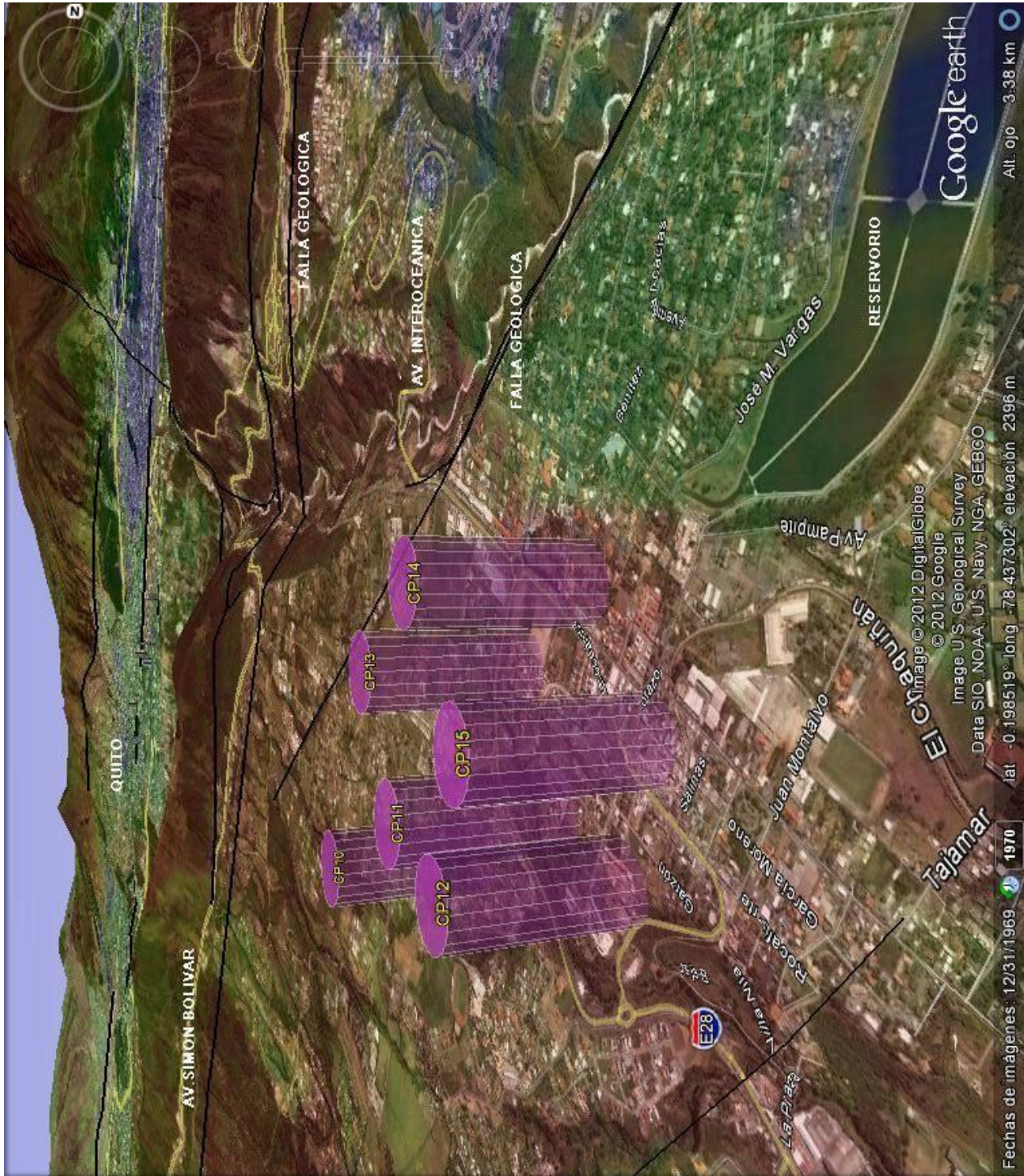


Figura 39. Zona Cumbayá. Vista Ampliada.

CAPITULO V

5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La evaluación del riesgo sísmico a una escala como la del Distrito Metropolitano de Quito, requiere el uso masivo y simultáneo de una gran cantidad de información, lo que hace imprescindible la definición y caracterización detallada de la estructura de las bases de datos, normalizadas y preparadas, para la gestión del riesgo.
- El daño directo comprende los daños que surgen del movimiento del terreno que induce la vibración de las construcciones fundadas sobre el mismo. Esta vibración origina fuerzas inerciales sobre las masas, las cuales pueden resultar en distintos niveles de daño, que van desde fisuras leves hasta el colapso total, dependiendo de una gran cantidad de factores, tales como la magnitud del terremoto, tipología estructural, materiales de la construcción, etc.
- Hazus propone cinco posibles estados de daño: nulo, leve, moderado, severo o completo; cada uno de los cuáles describe detalladamente. Cómo se comporta el elemento si ha sufrido uno u otro daño viene descrito en función del daño producido en su estructura. Es una descripción de daños físicos y cuantificables. Sin embargo, en algunos casos Hazus utiliza términos poco claros como que un elemento puede sufrir daño considerable. Es pues en algunos puntos subjetivo.
- Cuando asignamos a una estructura o infraestructura un estado de daño nulo no significa que este elemento no sufrirá ningún daño o cambio físico. Sino que el daño causado podrá existir, pero siempre inferior al daño asignado al estado leve. Del mismo modo, el estado de daño completo se

asigna a un elemento cuando queda inoperativo y tiene pérdidas de sus funciones. Sin embargo, esto no significa que su estructura no pueda sufrir daños mayores.

- Los estudios de vulnerabilidad sirven para establecer el grado de seguridad que presentan las ciudades frente a la ocurrencia de un evento sísmico de proporciones. Es necesario emprender acciones para promover la colaboración entre el Gobierno, los científicos locales, el sector empresarial y comunidad organizada a fin de prepararse para la eventual ocurrencia de un sismo severo. Ello implica elaborar un plan de manejo de riesgos y proponer un plan de respuesta para administrar la emergencia una vez que ocurra.
- En un probable evento sísmico de 6.5° de magnitud en la escala de Richter, para los 15 polígonos que están situados en las zonas de mayor deformación tectónica, que corresponde a un tipo de suelo negro, profundo, limoso o limo-arenoso, derivado de materiales piroclásticos con menos de 30% de arcilla en el primer metro y con saturación de bases mayor al 50%, que posee viviendas con material de hormigón, existe una probabilidad de daño Moderado, que en sus estructuras se podrá evidenciar grietas en las esquinas de las puertas y ventanas, pequeñas grietas diagonales en las paredes.

BIBLIOGRAFIA

- “Tesis de grado para optar por el grado académico de Licenciatura en Ciencias Geográficas con énfasis en ordenamiento territorial”, Sergio Arce Sánchez, Heredia, Costa Rica, 2009.
- Vulnerabilidad Sísmica del Centro Histórico de Sangolquí, Barona Diego, Sangolquí, 2010
- FEMA
<http://www.fema.gov/plan/prevent/hazus/>
- EL TERRITORIO: LA BASE DEL SISTEMA DE VULNERABILIDAD Y RIESGO
http://www.senplades.gov.ec/c/document_library/get_file?uuid=f699cdfc-fb82-4356-b645-003d47c87f73&groupId=18607
- “Vulnerabilidad del Distrito -Metropolitano de Quito”, Robert D'Ercole, Pascale Metzge
- IG-EPN, 2011
<http://www.igepn.edu.ec/>
- Atiaga G., F. Demoraes. Vulnerabilidad estructural de los puentes del Distrito Metropolitano de Quito frente al peligro sísmico Aplicación y adaptación de la metodología HAZUS®99 al contexto ecuatoriano. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Escuela Politécnica Nacional, IRD, 2002, Quito, 127p,
<http://www.univsavoie.fr/labos/edytem/membres/demoraes/pubequateurpdf/VSPQ.pdf>
- Roldán Walter, Tapia Patricio, Villacis Carlos. “EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SISMICA EN ZONAS URBANAS. UNA HERRAMIENTA DE INTEGRACION”, 2002 Chile.
<http://www.alhsud.com/public/articulos/Coello.pdf>
- H. Yepes, Chatelain, B. Guillier, ESTUDIO DEL RIESGO SISMICO EN EL ECUADOR,
http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers10-09/010006891.pdf
- Ricardo R. López, Luis E. Suárez, Juan C. Herrera³ y Abimael Santiago, VERIFICACIÓN DE LAS CURVAS DE CAPACIDAD DE HAZUS PARA PUERTO RICO,
<http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/article/viewFile/29/25>
- Roberto Aguiar Falconí y Diego Barona, EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA CON HAZUS-99 ADAPTADO AL ECUADOR UTILIZANDO CEINCI-LAB, Quito, 2010,
http://biblioteca.espe.edu.ec/upload/7_Articulo_peligrosidad.pdf
- RECARGA ACUIFERO DE QUITO.
<http://www.bvsde.paho.org/bvsarg/e/fulltext/quito/quito.pdf>

- Evaluación y Zonificación de Riesgos Geodinámicos en el Distrito Minero de Zaruma y Portovelo.
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/216/1/338.pdf>
- NAVEGANDO ENTRE BRUMAS. La aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgo en América Latina.
http://www.desenredando.org/public/libros/1998/neb/neb_cap07-ZAN_nov-09-2002.pdf
- Geofísico.
<http://www.crid.or.cr/crid/idrc/seminario%20Panam%E1/presentacionnespanelistas/Milton%20de%20la%20Cadena%20Actualizada.pdf>
- Falla activa de Quito.
[http://www.ifeanet.org/publicaciones/boletines/25\(3\)/359.pdf](http://www.ifeanet.org/publicaciones/boletines/25(3)/359.pdf)
- Microzonificación sísmicas de los suelos del distrito metropolitano de Quito.
http://www.crid.or.cr/cd/CD_BivaPaD/pdf/doc586/doc586-contenido.pdf
- Programa Regional Andino para la reducción y mitigación de riesgos.
<http://www.disaster-info.net/PED-Sudamerica/leyes/leyes/suramerica/ecuador/otranorm/PLAN ESTRATEGICO REDUCCION RIESGO.pdf>
- Tipos de placas tectónicas
http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_06_07/io3/public_html/Placas/Placas.html
http://eqkc.earth.ncu.edu.tw/papers/2005_Ma_et al_JGR.pdf
- DINSAR
http://www.mat.ucm.es/~mcharco/Gedesia_XXI.pdf
<http://www.aet.org.es/congresos/xi/ten108.pdf>
<http://www.selper.org/selper2002/selper/articulos/T164.pdf>
- SELENA USER MANUAL
- RISK USER MANUAL