

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Posgrados

**Optimización del uso del SIG en la microzonificación sísmica y
evaluación de la vulnerabilidad física en la ciudad de Guaranda-
Ecuador**

Diego Fabián Mena Erazo

Richard Resl, Ph.Dc., Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Magister en Sistemas de Información Geográfica

Quito, julio de 2013

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Posgrados

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Optimización del uso del SIG en la microzonificación sísmica y
evaluación de la vulnerabilidad física en la ciudad de Guaranda-
Ecuador**

Diego Fabián Mena Erazo

Richard Resl, Ph.D.
Director de Tesis

Diana Contreras, Msc.
Miembro del Comité de Tesis

Richard Resl, Ph.D.
**Director de la Maestría en Sistemas
de Información Geográfica**

Stella de la Torre, Ph.D.
**Decana del Colegio de Ciencias
Biológicas y Ambientales**

Víctor Viteri Breedy, Ph.D.
Decano del Colegio de Posgrados

Quito, julio de 2013

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: Diego Fabián Mena Erazo

C. I.: 171236363-7

Quito, julio de 2013

DEDICATORIA

A mi amor, Caro, siempre incondicional junto a mí, tú sabes todo el camino que seguí para obtener este logro en mi vida, gracias mi mujercita.

A mi Familia, Lucita, Fabián y Adry, ellos siempre son mi apoyo, especialmente tú mamita por ti estoy aquí, consiguiendo algo muy importante en mi vida.

A mis sobrinas, angelitos, Dome y Karlita, "El ñaño ya acabó sus deberes".

A Dios y la Virgen por cuidarme y permitir que mi vida siga.

.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad San Francisco y al Colegio de Posgrados por ofrecer esta maestría bien estructurada, siempre con el apoyo de tutores y profesores.

A Diana Contreras, por su gran apoyo e ideas, en el desarrollo de esta tesis.

RESUMEN

Este proyecto de tesis, está enfocado en la optimización de los SIG, mediante la aplicación de un diseño lógico y un modelo cartográfico empírico, enfocado desde el punto de vista geológico, para desarrollar los mapas de Microzonificación Sísmica y de Vulnerabilidad Física de las Edificaciones de la Ciudad de Guaranda.

La microzonificación sísmica, consiste en la división de un territorio urbano en microzonas geográficas que presentan características similares ante un fenómeno sísmico y se basa en la identificación y caracterización de unidades litológicas, generalmente suelos. En estos estudios se integra información geológica, geomorfológica, sismológica y geotécnica. Estos mapas constituyen un elemento esencial para la reducción del riesgo sísmico, ya que permite desarrollar parámetros para la construcción de edificaciones, para cada uno de los tipos de suelo en que se divide la ciudad.

En el Mapa de Microzonificación Sísmica se dividieron 4 microzonas con similares características geológicas-dinámicas. Estas 4 zonas son calificadas de acuerdo al comportamiento que presentarían ante un fenómeno sísmico.

Paralelamente al estudio de Microzonificación Sísmica se realizó la evaluación básica de la vulnerabilidad física de las edificaciones de la ciudad de Guaranda, usando 3 indicadores: tipo, materiales de construcción y condición de mantenimiento. Estos indicadores con sus respectivas variables fueron correlacionadas mediante matrices de ponderaciones normalizadas. Al final se determinó el grado de vulnerabilidad de las edificaciones, siendo baja y moderada las categorías de mayor representatividad en el mapa de vulnerabilidad.

ABSTRACT

This Project was focused on optimizing the GIS through a logical design and an empirical cartographic model that was concentrated on geology in order to obtain the maps of: Microzonation Seismic and the evaluation of edifications vulnerability of Guaranda City.

The Seismic Microzonation consists of the separation of an urban zone of the city in geographic microzones with similar seismic features when a seism happens and is based on the identification and characterization of geological units, generally soils. These studies are composed of geological, geomorphical, geotechnical and seismic information. These maps constitute an essential element for the reduction of the seismic risk, since it allows developing parameters for the construction of buildings for each of the types of soil in which the city is divided.

The Seismic Microzonation Map was separated in 4 microzones with similar geological-dynamics features. These zones were divided based on their behavior when a seism occurs.

Parallel to the study of Seismic Microzonation Map, there was realized a basic evaluation of vulnerability in the physical dimension of Guaranda City. This evaluation was based on 3 indicators: Type and building materials and maintenance condition of the edification. These indicators and their variables were correlated using a matrix with normalized weighting. The final result was to identify the vulnerability grade of the edifications of the city. The moderate and low categories were the ones with more presence in the vulnerability map.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	7
ABSTRACT	8
CAPITULO I INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA	15
1.2. ANTECEDENTES	16
1.3. EL PROBLEMA	19
1.4. HIPÓTESIS	20
1.5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	20
1.6. OBJETIVOS	21
1.6.1.General.....	21
1.6.2.Específicos	21
1.7. EL PROPÓSITO DEL ESTUDIO	21
1.8. EL SIGNIFICADO DEL ESTUDIO	22
1.9. DEFINICIÓN DE TERMINOS.....	22
1.10. PRESUNCIONES DEL AUTOR	24
1.11. SUPUESTOS DEL ESTUDIO.....	24
CAPITULO II REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	25
2.1. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICOS....	25
2.1.1. Definición de los SIG	25
2.1.2. Componentes de los SIG.....	26
2.1.3. Funcionalidades de los SIG.....	28
2.2. GENERALIDADES SOBRE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE UNA CIUDAD	30
2.2.1. Definición.....	30

2.2.2. Utilidad de los estudios de Microzonificación Sísmica.....	31
2.3. GENERALIDADES SOBRE ESTUDIOS DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LAS EDIFICACIONES ANTE UN SISMO	32
2.3.1. Definición.....	32
2.4. PASOS EN EL PROCESO DE REVISIÓN DE LA LITERATURA	34
2.5. FORMATO DE LA REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	34
CAPITULO III METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
3.1. PLANIFICACIÓN	35
3.2. DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROYECTO	38
3.2.1. Identificación de las entidades.....	38
3.2.2. Determinación de las relaciones.....	38
3.2.3. Identificación de los atributos de las entidades.	39
3.3. DISEÑO DEL MODELO SIG	39
3.4. JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SELECCIONADA.....	39
3.5. HERRAMIENTAS DE INVESTIGACIÓN UTILIZADAS.....	40
3.6. DESCRIPCIÓN DE PARTICIPANTES	40
3.7. CARACTERÍSTICAS ESPECIALES RELACIONADAS CON EL ESTUDIO.....	41
CAPITULO IV ANÁLISIS DE DATOS.....	44
4.1. MAPA GEOLÓGICO-TECTÓNICO DEL ESTRATO SUPERIOR DE LA CIUDAD. 45	
4.1.1. Datos Disponibles.....	45
4.1.2. Procesamiento de los Datos.....	49
4.1.3. Descripción del Mapa Geológico-Tectónico del estrato superior de la ciudad....	51
4.2. MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA CIUDAD	54
4.2.1. Datos disponibles	54

4.2.2. Procesamiento de los Datos.....	55
4.2.3. Descripción del Mapa Geomorfológico	58
4.3. MAPA GEOTÉCNICO DE SUELOS	60
4.3.1. Datos Disponibles.....	60
4.3.2. Procesamiento de los Datos.....	64
4.3.3. Descripción del Mapa Geotécnico	76
4.4. MAPA DE ZONIFICACIÓN DINÁMICA DE LA CIUDAD.	80
4.4.1. Datos Disponibles.....	80
4.4.2. Procesamiento de los datos	84
4.4.3. Descripción del Mapa de Aceleraciones del Estrato Superior	87
4.5. MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA	89
4.5.1. Obtención del Mapa de Microzonificación Sísmica	89
4.5.2. Descripción del Mapa de Microzonificación Sísmica de la ciudad	89
4.6. EVALUACIÓN BÁSICA DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LAS CONSTRUCCIONES ANTE UN SISMO	91
4.6.1. Mapa del indicador Tipo Constructivo.....	94
4.6.2. Mapa del Indicador Material de Construcción.....	94
4.6.3. Mapa del Indicador Condición de Mantenimiento.....	94
4.6.4. Mapa de Vulnerabilidad Física de las Edificaciones.....	98
CAPÍTULO V CONCLUSIONES.....	102
5.1. CONCLUSIONES.....	102
5.2. LIMITACIONES DEL ESTUDIO	104
5.3. RECOMENDACIONES.....	104
5.4. REFERENCIAS	105

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 . Etapas de realización del estudio	35
Tabla 2. Datos cartográficos y alfanuméricos disponibles para el proyecto.	37
Tabla 3. Coordenadas de las muestras y valores principales de los ensayos SUCS....	46
Tabla 4. Coordenadas de los afloramientos observados y tipo de suelo.....	47
Tabla 5. Ponderación de los tipos de suelo.....	50
Tabla 6. Valores utilizados en la ponderación de las geoformas.....	56
Tabla 7. Características principales de los suelos basados en la clasificación SUCS, .	61
Tabla 8. Ubicación de los ensayos triaxiales y valores obtenidos en este ensayo.	61
Tabla 9. Coordenadas de las perforaciones SPT	62
Tabla 10. Coordenadas de las perforaciones SPT.....	62
Tabla 11. Asignación de las ponderaciones de acuerdo a la variable Amenaza de Subsidiencias de suelo.....	64
Tabla 12. Asignación de ponderaciones para la variable Amenaza de Deslizamientos	65
Tabla 13. Tabla para determinar mediante correlaciones la Fricción y Cohesión de los suelos de acuerdo al Número de Golpes N del SPT y al tipo de suelo.	72
Tabla 14. Valores finales de cohesión utilizada para la interpolación.....	73
Tabla 15. Coordenadas de los ensayos Down Hole y valores de las velocidades de corte o cizalla a diferentes profundidades dentro del sondeo SPT.....	80
Tabla 16. Muestra los sondeos SPT, profundidades y valores de la velocidad de cizalla.	82
Tabla 17. Valores de gravedad usados para la interpolación del mapa de aceleración de ondas.....	86

Tabla 18. Calificación de variables para la evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones en la Ciudad de Guaranda.....	92
Tabla 19. Matriz de ponderaciones normalizadas de las variables	98
Tabla 20. Matriz de ponderaciones normalizadas de los indicadores.	99
Tabla 21. Multiplicación de las ponderaciones normalizadas de las variables e indicadores.	99
Tabla 22. Calificación del grado de vulnerabilidad de las edificaciones de la ciudad de Guaranda.....	101
Tabla 23. Grado de vulnerabilidad y número de viviendas de la ciudad de Guaranda.	101

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de los SIG.	26
Figura 2. Funcionalidades de los SIG.....	28
Figura 3. Diagrama Lógico Entidad-Atributo-Relación (EAR), utilizado en el proyecto.	42
Figura 4. Modelo cartográfico aplicado en el proyecto.	43
Figura 5. Ubicación de puntos, para SUCS, Afloramientos y fallas geológicas.	48
Figura 6. Proceso para crear las tablas en ArcMap.....	49
Figura 7. Asignación de ponderaciones del tipo de suelo	50
Figura 8. Proceso para la interpolación y Obtención del Mapa Geológico.	51
Figura 9. Mapa Geológico-Tectónico del estrato superior de la ciudad.....	53
Figura 10. Mapa con curvas de nivel.....	54
Figura 11. Creación del TIN y Mapa de Pendientes.	55
Figura 12. Asignación de la ponderación para el mapa geomorfológico.	56
Figura 13. Mapa de Pendientes.....	57
Figura 14. Mapa Geomorfológico de la ciudad.	59
Figura 15. Ubicación de Calicatas y SPT.	63
Figura 16. Creación del campo y asignación de las ponderaciones para las variables Amenaza de Subsidiencias de suelo y Amenaza de Deslizamientos.....	66

Figura 17. Proceso para obtener los mapas de las Variables Amenaza de Subsidiencias de suelo y Amenaza de Deslizamientos.....	67
Figura 18. Mapa de Suelos, variable Amenaza de Subsidiencias de suelo	68
Figura 19. Mapa de Suelos, variable Amenaza de Deslizamientos.....	69
Figura 20. Fórmula para calcular el mapa de Amenaza de subsidencias de suelo y de Deslizamientos.	70
Figura 21. Mapa de Amenaza de Subsidiencias de suelo y amenaza de deslizamientos.	71
Figura 22. Proceso para obtener los mapas del valor de cohesión.....	74
Figura 23. Mapa de Cohesión de suelos.....	75
Figura 24. Creación del raster Mapa Geotécnico	76
Figura 25. Mapa Geotécnico de suelos de la ciudad.....	79
Figura 26. Ubicación de los sondeos para elaborar el mapa de aceleración de ondas. 83	
Figura 27. Gráficos, resultados del Software EDUSHAKE, ejemplo sondeo G001	85
Figura 28. Proceso para obtener el Mapa de Aceleración de ondas.....	87
Figura 29. Mapa de Aceleración de ondas del estrato superior.....	88
Figura 30. Fórmula para obtener el Mapa de Microzonificación Sísmica.	89
Figura 31. Edificaciones tipo identificadas en la Ciudad de Guaranda.....	93
Figura 32. Mapa del Indicador tipo Constructivo	95
Figura 33. Mapa del Indicador Material de Construcción.	96
Figura 34. Mapa del Indicador Condición de Mantenimiento.....	97
Figura 35. Proceso para obtener el mapa de Evaluación de Vulnerabilidad Básica de las Edificaciones.	100

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SISMICA DE LA CIUDAD.....	110
ANEXO 2. MAPA DE VULNERABILIDAD FÍSICA DE LAS EDIFICACIONES DE LA CIUDAD.....	112

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA

La optimización de los SIG a partir de la aplicación de un diseño lógico, permitirá obtener los mapas de Microzonificación Sísmica y de Vulnerabilidad Física de las Edificaciones, basados en un modelo cartográfico empírico, enfocado desde el punto de vista de la geología.

La microzonificación sísmica, consiste la división de un territorio urbano en microzonas geográficas, donde se pronostican comportamientos diferentes ante la ocurrencia de un sismo fuerte. Lazo M. (1989). Estos mapas constituyen un elemento esencial para la reducción del riesgo sísmico, ya que permiten seleccionar los sitios más seguros para la construcción de las nuevas edificaciones y conocer la situación de vulnerabilidad real de las construcciones actuales. Los estudios de microzonificación sísmica desde un punto de vista técnico se basan en la identificación y caracterización de unidades litológicas, generalmente suelos cuyas respuestas dinámicas frente a terremotos o sismos son semejantes. Además de estas unidades se incluyen los efectos inducidos (fallas, posibilidad de deslizamientos, etc.) y se valora su peligrosidad. Los movimientos sísmicos son uno de los principales eventos naturales que han afectado al territorio ecuatoriano, y a la ciudad de Guaranda, cuya historia sísmica refleja su vulnerabilidad ante estos fenómenos naturales. Por todo lo anteriormente mencionado, un estudio de microzonificación sísmica es un documento que constituye un elemento esencial para la reducción del riesgo sísmico, ya que permite seleccionar los sitios más seguros para la construcción de las nuevas edificaciones y así planificar de forma racional el crecimiento de una ciudad. El Mapa de Microzonificación Sísmica, se presentan en una base cartográfica útil para fines de edificación y planificación urbana. La escala utilizada es 1/10,000 - 1/5000, o más detallada. INIESTO, Mulas de la Peña y GUMIEL (2002)

El resultado de las etapas de estudios son los diferentes mapas: Geológico del Estrato Superior de la Ciudad, Mapa Geomorfológico, Mapa Geotécnico y el Mapa de Aceleraciones de ondas del estrato superior. Estos submapas funcionan como capas para construir el Mapa de Microzonificación Sísmica, es decir la Microzonificación junta los aspectos más importantes de cada sub-mapa.

Además del mapa de Microzonificación Sísmica es sencillo darle un valor agregado al proyecto de tesis, al realizar paralelamente una evaluación de la vulnerabilidad física de las construcciones, este tipo de evaluaciones de vulnerabilidad son fundamentales y base para la evaluación del riesgo sísmico y es ahí, donde hay que intervenir para reducción de los desastres de origen sísmico. En Ecuador, no se cuenta con funciones de vulnerabilidad o matrices de daño para edificaciones tipo, en vez de utilizar las desarrolladas en otros países, se realizará un análisis cuantitativo básico de la vulnerabilidad física de las edificaciones, basado en consideraciones sobre el comportamiento de los diferentes sistemas constructivos ante sismos, con indicadores como: tipo, materiales de construcción y condición de mantenimiento. Además existen relaciones empíricas desarrolladas a nivel mundial referentes al cálculo de nivel de daños esperados de acuerdo al tipo de estructura y el nivel de intensidad sísmica (Sauter,1989; Kramer, 1996; Wald et. al, 1999), sin embargo esta simulación esta fuera del alcance de este proyecto.

1.2. ANTECEDENTES

Anteriormente, se han realizado algunos trabajos investigativos relacionados con la Geología, Metodologías para la Microzonificación Sísmica y Estudios de Amenazas Sísmicas de la Ciudad de Guaranda. Estos documentos fueron la base para realizar este estudio. Estos documentos son los siguientes:

“Estudio de la Evaluación de la Amenaza Sísmica para la Ciudad de Guaranda, Provincia de Bolívar”, realizado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2007, cuyas principales conclusiones fueron:

- La ciudad de Guaranda, históricamente ha sido afectada por fuertes terremotos, donde por lo menos en 3 ocasiones se han registrados intensidades sísmicas de 8. Estas intensidades han sido producidas en dos ocasiones por fuertes sismos, 1797 y 1911, originados muy probablemente en la Falla Pallatanga o sus asociadas y que por la cercanía al sitio son capaces de generar sacudimientos de tales intensidades.
- De los resultados de la evaluación probabilística de la amenaza sísmica para la ciudad de Guaranda, se concluye que el sismo máximo probable, analizado con las respectivas leyes de atenuación, para una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años (práctica internacional), tendría valores de aceleración en roca, entre 0.22 g y 0.28 g. Las zonas fuentes que mayormente contribuyen a la amenaza son aquellas ubicadas en la zona de subducción y el sistema de fallas transcurrentes, principalmente la Falla de Pallatanga. Los resultados se refieren a las aceleraciones máximas en la roca y no considera el efecto de los suelos existentes.
- Los resultados obtenidos durante este estudio, conjuntamente con las investigaciones que se efectúen para determinar los efectos sobre los suelos sujetos a los parámetros sísmicos definidos en el presente trabajo y para caracterizar la respuesta dinámica de los mismos, serán de aplicación en la microzonificación sísmica de la ciudad de Guaranda.

“Metodología para la Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Guaranda”, como proyecto Fin de Master de La Universidad de Alicante, realizado por Paucar, José Abelardo, 2011. Las principales conclusiones relacionadas con este estudio, fueron:

- En base a la revisión de estudios y documentos técnicos, a nivel nacional: el Código Ecuatoriano de la Construcción (2002), establece cuatro zonas sísmicas, en base a ello la ciudad de Guaranda, está ubicada en la zona IV la de mayor valor, con 0.40 g. de aceleración en roca. En el estudio de Aguiar R. y otros (2009), para un período de retorno de 475 años establecen dos zonas sísmica: la una para la costa y la sierra con una aceleración máxima de 0.4 g., y la otra zona restante con una aceleración máxima de 0.3g, Guaranda está ubicada en la primera zona con 0.4 g. En el documento y mapa elaborado por COOPI, OXFAM GB, IRD y SIISE (2003) considera cuatro grados de peligro para el país, la ciudad está ubicado en la zona de peligro sísmico muy alto.
- El desarrollo de la metodología de microzonificación sísmica de la ciudad de Guaranda se debe basar en los métodos analíticos, que tienen como fundamento “la teoría de propagación de ondas para distintos modelos de terrenos”; se deberá considerar el modelo 1-D (1-Dimensional), que establece que la respuesta sísmica en superficie se evalúa en la propagación de ondas considerando un modelo estratificado horizontal, para lo cual se requiere conocer el espesor del suelo blando y la Vs (velocidad de corte) de la capa, para esto se aplicará el programa de modelización EDUSHAKE, obteniendo resultados de: acelerogramas de entrada y salida, espectros de respuesta, evolución de la aceleración pico, para cada sitio de sondeo, que permitirán analizar posibles amplificaciones (respuesta local) ante la sacudida sísmica en diverso sitios de la ciudad (sondeos).

“Levantamiento Geológico de la Depresión de Guaranda”, tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Geólogo de la Universidad Central del Ecuador, realizada por Escorza, Luis, 1993. Cuyas principales conclusiones fueron:

- Con los antecedentes históricos de los desastres geológicos que han afectado a Guaranda y Chimbo, y con los resultados del presente trabajo, se puede considerar a la Depresión de Guaranda como zona de riesgo geológico.

- Los hundimientos y la reptación de fondo, continuarán hasta que no se tomen medidas correctivas que la técnica determine. Así como en el diseño en construcciones para enfrentar tales fenómenos.
- La zona de Guaranda, está sujeta a dos tipos de movimientos sísmicos: Por movimiento de la cobertera y por reactivación de fallas estructurales.
- El diseño de las construcciones civiles, así como la planificación urbana y las medidas adoptadas por las autoridades no han sido efectivas para enfrentar la geología dinámica presente en la ciudad; a esto hay que añadir que las actuales autoridades tampoco han adoptado medidas preventivas ni correctivas, lo que hace que la futura ciudad sea altamente vulnerable ante los fenómenos geológicos citados en este estudio.

1.3. EL PROBLEMA

Guaranda al estar ubicada en una zona de peligro sísmico muy alto, zona IV la de mayor valor en el país, con 0.40 g. de aceleración en roca. (Código Ecuatoriano de la Construcción, 2002). Además la ciudad históricamente ha sido afectada por fuertes terremotos, donde por lo menos en 3 ocasiones se han registrados intensidades sísmicas de 8, estas intensidades han sido producidas en dos ocasiones por fuertes sismos, 1797 y 1911. (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2007). Finalmente el crecimiento desorganizado y acelerado de la ciudad además de la falta de insumos para el ordenamiento territorial de la misma, hacen que Guaranda sea altamente vulnerable ante los fenómenos geológicos. (Escorza, 1993). Por todos estos factores se hace indispensable para la ciudad tener un estudio de Microzonificación Sísmica, este documento se convierte en un insumo fundamental y básico para el diseño del plan de ordenamiento territorial de la ciudad y por ende de la planificación del desarrollo urbano. Estas acciones resultan de vital importancia para el desarrollo sostenible y sustentable de las ciudades que constituyen complejos sistemas, donde todas las actividades vitales están interrelacionadas.

Por otro lado, es necesario tener un mapa básico de evaluación de la vulnerabilidad física de las construcciones actuales de la ciudad; ya que al momento no se cuenta con la información necesaria, para que los habitantes conozcan el estado real de sus edificaciones, por lo tanto como complemento al estudio de Microzonificación Sísmica se va a realizar la Evaluación Física de las Construcciones en la ciudad de Guaranda nivel básico.

Como ya lo hemos mencionado en el apartado antecedentes, en la ciudad se han realizado una serie de estudios orientado a conocer la situación sísmica-geológica de la ciudad, pero toda esta información alfanumérica y cartográfica está sin estructuración y dispersa, debido a esto, lo que se busca en este proyecto de tesis es integrar la información mencionada mediante la optimización de los SIG, a partir de la aplicación de un modelo cartográfico, que permitan almacenar, analizar y procesar esta información, orientados a conseguir nuestros mapas, que son los objetivos de esta tesis.

1.4. HIPÓTESIS

La hipótesis para este proyecto sería: “El uso del SIG, mediante un diseño lógico y modelo cartográfico, permitirá la optimización del almacenamiento, análisis y procesamiento de la información alfanumérica y cartográfica disponible, para obtener mapas de microzonificación sísmica y de vulnerabilidad física de las edificaciones de la ciudad de Guaranda”

1.5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo y hasta qué punto la optimización del manejo y procesamiento de datos, mediante el uso del SIG y un modelo cartográfico, permitirá obtener mapas de calidad,

tanto de Microzonificación sísmica como de vulnerabilidad básica de las edificaciones de la ciudad? Estos mapas orientados al mejoramiento del plan de ordenamiento territorial de la Ciudad de Guaranda.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. General

- Optimizar el uso de los Sistemas de Información Geográfica aplicado al desarrollo de los mapas de microzonificación sísmica y de vulnerabilidad física de las edificaciones.

1.6.2. Específicos

- Definir la información alfanumérica y cartográfica útil, que será utilizada para la generación de los mapas.
- Obtener los submapas: geológicos del estrato superior de la ciudad, geotécnico, geomorfológico y de aceleración de ondas, mediante la aplicación de un diseño lógico y modelo cartográfico empírico, enfocado desde un punto de vista geológico.
- Desarrollar el mapa de vulnerabilidad física de las edificaciones por medio de la ponderación y normalización de los indicadores de vulnerabilidad: Tipo constructivo, material constructivo y condición de mantenimiento.

1.7. EL PROPÓSITO DEL ESTUDIO

El propósito de este estudio es, a través del uso óptimo del SIG, integrar de forma sistemática toda la información alfanumérica y cartográfica disponible para aplicar un modelo cartográfico que permita desarrollar los mapas de Microzonificación Sísmica y

Vulnerabilidad física de las edificaciones de la ciudad de Guaranda, estos documentos permitirán la racionalización del plan de ordenamiento territorial y la planificación del desarrollo urbano, por lo tanto el desarrollo sostenible y sustentable de la ciudad.

1.8. EL SIGNIFICADO DEL ESTUDIO

Los productos finales de este estudio, son de mucha utilidad para los municipios de las ciudades, especialmente en Ecuador, donde los fenómenos sísmicos históricamente han afectado a las diferentes poblaciones. El mapa de Microzonificación Sísmica es básico para aplicar el ordenamiento territorial de las ciudades, es decir, se formularán recomendaciones básicas y específicas para el diseño y construcción de edificaciones, en cada zona identificada. Finalmente este tipo de estudios aún no están muy difundidas en Ecuador, únicamente ciertas ciudades grandes como la Capital Quito tienen estos mapas.

1.9. DEFINICIÓN DE TERMINOS

Amenaza:

1. Hecho o condición que puede producir daño en las personas, equipos o edificaciones, afectando a su salud, su condición o su funcionamiento (Larson, 1990)
2. Es la probabilidad de que un área y un periodo de tiempo específico, un evento desencadenado por un fenómeno natural, o la actividad humana produzca un impacto negativo en los bienes físicos, económicos y culturales y/o afectar a la sociedad, el ambiente o las instituciones. Wanczura, S., et al. (2011).

Para este estudio utilizaremos la definición número 2.

Desastre:

1. Evento (natural o antrópico), que ocasiona daños a la propiedad, muertes y/o lesiones en la
2. Es considerado como una condición de combinaciones en las condiciones de amenaza y vulnerabilidad que hacen que la capacidad de la comunidad no sea suficiente para hacer frente a las consecuencias negativas producidas por un fenómeno natural, colocándola a esta en condición de riesgo (Wankzura, Angignard, y Carreño, 2011)

En este estudio se utilizará el concepto número 4.

Peligro

1. Constituye una fuente, situación o evento potencial conocido que puede causar daño o pérdida. (Contreras D, 2012).

Este será el concepto a utilizar para definir esta palabra, sin embargo está muy ligada al campo de seguridad ocupacional, pero puede aplicarse a este estudio.

Vulnerabilidad

1. La vulnerabilidad refleja la condición de susceptibilidad o la predisposición intrínseca a ser afectado, o estar bajo condiciones que favorecen o facilitan el daño. (MOVE, 2010)
2. Susceptibilidad a sufrir daños o la fragilidad intrínseca de los elementos, sistemas o comunidades expuestas, que favorecen las pérdidas, cuando se ven afectados por los fenómenos naturales (Contreras. D, 2012).
3. La vulnerabilidad comprende también las condiciones de resiliencia, basada en las capacidades para prepararse, responder y recuperarse del impacto causado por un fenómeno natural (Wankzura, Angignard, y Carreño, 2011)

La definición de vulnerabilidad que adoptaremos será la número 2.

Riesgo

Se puede definir como la interacción potencial entre las amenazas naturales y/o antrópicas y las condiciones vulnerables, dando como resultado una pérdida. (Wankzura, Angignard, y Carreño, 2011)

Esta definición de riesgo es válida para esta investigación.

1.10. PRESUNCIONES DEL AUTOR

- Los datos alfanuméricos tanto en la recolección en campo y procesamiento en laboratorios especializados son correctos y confiables para ser utilizados en el proyecto.
- El modelo cartográfico del SIG va a permitir integrar correctamente los datos cartográficos y alfanuméricos para la obtención de los Mapas de Microzonificación Sísmica y Vulnerabilidad básica de las edificaciones de la ciudad.

1.11. SUPUESTOS DEL ESTUDIO

La suposición principal se centra en que los mapas resultados de este proyecto van a contribuir a futuro en los planes de ordenamiento territorial de la ciudad.

CAPITULO II REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICOS

2.1.1. Definición de los SIG

Una definición específica para los SIG es muy compleja debido al amplio campo que estos sistemas abarcan y de los elementos multidisciplinarios que los componen. Entender que son los SIG, puede partir de definiciones globales, funcionales y tecnológicas.

Definiciones globales que son aquellas donde predomina la idea global. Se atiende a los objetivos generales de los SIG, sin especificar qué funciones realizan o los métodos concretos que utilizan, es decir un SIG puede ser concebido como una especialización de un sistema de bases de datos, caracterizado por su capacidad de manejar datos geográficos, que están georreferenciados y los cuales pueden ser visualizados como mapas

Definiciones Funcionales atienden a las tareas que pueden realizar. En principio estos sistemas deben servir para un objetivo básico que es la comprensión y uso de datos espaciales. Aronoff, (1991), las agrupa en cuatro grandes apartados: entrada de datos, uso de los datos, manipulación y análisis, y salida.

Definiciones Tecnológicas, serían aquellas que reflejan un interés por la técnica utilizada; es decir, destacan el uso de la informática como medio para el fin último: la comprensión de los datos espaciales. Bosque, (1992,) los define como tecnología informática para gestionar y analizar la información espacial.

Por tanto un Sistema de Información Geográfica se debería definir como una expresión que trate de englobar la totalidad de las funciones y elementos de los SIG; debido a

esto es razonable definir a los SIG como un sistema de hardware, software y procedimientos diseñado para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelización y presentación de datos referenciados espacialmente para la resolución de problemas complejos de planificación y gestión, cuyo fin último es ayudar a las diversas actividades humanas donde los datos espaciales tienen un papel determinante.

2.1.2. Componentes de los SIG

Los SIG se componen de seis partes fundamentales que son:

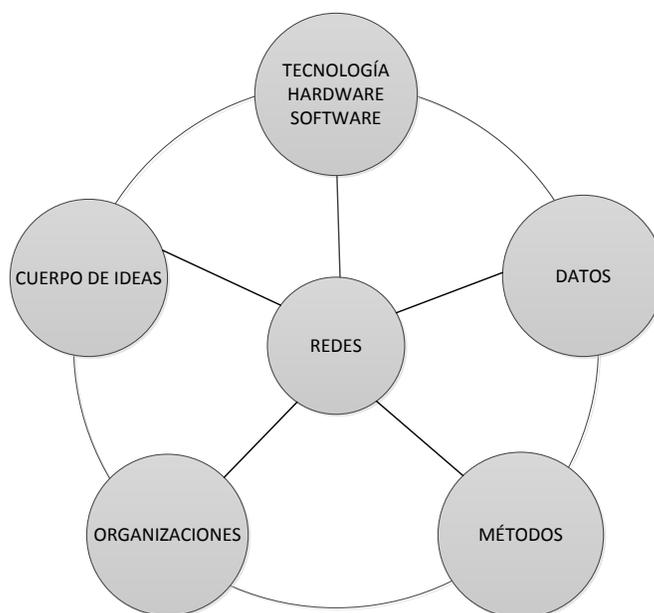


Figura 1. Componentes de los SIG.
Fuente: Adaptado de Longley et., 2005

2.1.2.1. Componente Tecnología

El componente tecnología de los SIG, viene definido por el software y hardware.

2.1.2.2. Componente Datos

Los datos son el componente SIG, mediante el cual representamos la realidad. Comas y Ruiz (1993), proporcionan un concepto muy claro de datos espaciales. “Los datos son la representación concreta de hechos y constituye el antecedente necesario para el conocimiento. La información se obtiene para una finalidad determinada y es fruto de un proceso interpretativo.”

2.1.2.3. Componente Métodos

El componente método se refiere a los procesos independientes o normas que tienen la finalidad de llevar a cabo las diferentes tareas o necesidades relacionadas con la creación, diseño o funcionamiento de los SIG.

2.1.2.4. Componente Organizaciones

El componente organizaciones está definido como: “El conjunto de objetivos, procesos, gestión, operadores y personal” Zurita, L. (2011) Lección 4 – Componentes y Funcionalidades de un SIG. UNIGIS.

2.1.2.5. Componente Cuerpo de Ideas

Este componente se refiere al cuerpo de ideas que están detrás de los SIG, es el conjunto de ciencias, procesos, etc. Los cuales determinan el avance, desarrollo y uso de los SIG.

2.1.2.6. Componente Redes

El componente redes permite la comunicación a través de compartir información geográfica de forma rápida y eficaz mediante redes, ya sea el internet o en las intranets de las organizaciones.

2.1.3. Funcionalidades de los SIG



Figura 2. Funcionalidades de los SIG.

Fuente: Adaptado de Eastman 1999.

2.1.3.1. Funciones para la Entrada de Información

En un SIG, las funciones para la entrada de información son las que nos permiten la introducción, edición y visualización de datos geográficos.

2.1.3.2. Funciones de Almacenamiento

Las funciones de almacenamiento permitirán guardar los datos geográficos, que no implicará solamente al disco duro del ordenador, ya que a medida que se desarrollan los SIG será necesario ir traspasando información a otros dispositivos, así como crear copias de seguridad.

2.1.3.3. Funciones de Gestión

La finalidad esencial de las funciones de gestión, es permitir la independencia entre la organización física y lógica de los datos; es decir, la independencia entre la base de datos y los programas que la gestionan para poder de este modo controlar su almacenamiento, recuperación y actualización (Comas y Ruiz, 1993).

2.1.3.4. Las Funciones de Análisis Espacial

Las funciones de análisis espacial son las más representativas del software de SIG, es decir son las que en definitiva atribuyen valor a los datos geográficos, al revelarnos cosas que de otra forma no conseguiríamos percibir. Conocer y comprender las operaciones espaciales es útil para planificar mejor y de forma más eficiente el trabajo con los SIG.

Dichas funciones pueden clasificarse en cuatro grupos (Arnoff, 1989): Recuperación, Superposición, Vecindad y Conectividad; y entre ellas se incluyen operaciones de consulta, medición de áreas o perímetros, superposición de capas de información, y álgebra de mapas o reclasificación de datos (asignación de una nueva categoría o valor a las entidades).

Dependiendo del paquete de software de SIG que utilicemos, dispondremos de más o menor funciones de análisis.

2.1.3.5. Funciones de Salida

Las funciones de salida o representación gráfica y cartográfica de la información mediante un SIG son las que permiten transferir los datos, imágenes o mapas contenidos en él a otro medio o soporte.

2.2. GENERALIDADES SOBRE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE UNA CIUDAD

2.2.1. Definición

La microzonificación sísmica, consiste la división de un territorio urbano en microzonas geográficas, donde se pronostican comportamientos diferentes ante la ocurrencia de un sismo fuerte. Lazo M. (1989). Para cada una de las zonas, además de especificarse la fuerza sísmica posible, deben identificarse los tipos de fenómenos asociados que pueden desencadenarse a raíz del sismo, como son los deslizamientos, la amplificación exagerada del movimiento o la posibilidad de la licuación del suelo. La microzonificación sísmica integra información geológica, sismológica, geofísica y geotécnica, es decir para la definición de estas microzonas se hace con base en criterios topográficos,

estratigráficos, de espesores y rigidez de los materiales, entre otras características de los suelos.

Por ejemplo, en las zonas montañosas, las consecuencias más importantes son los deslizamientos y avalanchas, además de la amplificación de las ondas por efectos topográficos. En los sitios donde la topografía es plana y con suelos relativamente blandos, existe la posibilidad de grandes amplificaciones del movimiento sísmico dependiendo de las características del sismo. En los depósitos conformados principalmente por materiales arenosos, especialmente cuando se trata de arenas limpias, sueltas ubicadas menos de 15 metros de profundidad y con niveles freáticos altos, existe la posibilidad de que se presente el fenómeno llamado licuación, en el cual se pierde toda la capacidad de soporte del suelo presentándose grandes asentamientos del terreno y generando volcancitos de arena y hundimiento de las edificaciones que estén localizadas sobre estos.

Con base en el mapa de microzonificación sísmica, una ciudad puede adelantar la planificación de su desarrollo, teniendo en cuenta las restricciones a los tipos de construcción y los parámetros de diseño definidos para las diferentes zonas de la ciudad.

El Mapa de Microzonificación Sísmica, se presentan en una base cartográfica útil para fines de edificación y planificación urbana. La escala utilizada es 1/10,000 - 1/5000, o más detallada. INIESTO, Mulas de la Peña y GUMIEL (2002).

2.2.2. Utilidad de los estudios de Microzonificación Sísmica

Estos estudios pueden ser utilizados, entre otros para ciertos fines, como:

- Diseño sismo-resistente de viviendas, estructuras y líneas vitales.
- Estimación de daños y pérdidas humanas, sociales y económicas.

- Planificación y uso de tierras.
- Preparación de planos para el manejo de desastres sísmicos y planificación de recuperación de daños.
- Adecuación estructural de edificios existentes.

2.3. GENERALIDADES SOBRE ESTUDIOS DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LAS EDIFICACIONES ANTE UN SISMO

2.3.1. Definición

En principio, la vulnerabilidad en general refleja la condición de susceptibilidad o la predisposición intrínseca a ser afectado, o estar bajo condiciones que favorecen facilitan o el daño (MOVE, 2010).

La evaluación de la vulnerabilidad involucra el grado de exposición, la susceptibilidad, la fragilidad y la falta de resiliencia de los sistemas socio-ecológicos que favorecen los efectos adversos. Contreras, D. (2012). Lección 3 - Vulnerabilidad, UNIGIS.

El presente estudio de vulnerabilidad está enfocado desde la dimensión física, que es definida como “La fragilidad de activos físicos, zonas edificadas, infraestructura, espacios abiertos. Esta dimensión está relacionada con la ubicación en zonas de amenaza y la deficiencia en la resistencia de los elementos expuestos”. Contreras, D. (2012). Lección 3 – Vulnerabilidad.

La vulnerabilidad sísmica es uno de los factores fundamentales para la evaluación del riesgo sísmico y es en la que hay que intervenir para reducción de los desastres de origen sísmico. La metodología integral para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones desarrollada por el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas de Cuba, (CENAIIS) aborda de forma completa todos los aspectos que influyen en los diferentes tipos de vulnerabilidad sísmica, esta metodología evalúa la

vulnerabilidad en tres niveles de estudio, en dependencia del objetivo, la cantidad de construcciones a evaluar, la información existente, el tiempo, etc..., estos niveles son:

- Nivel 1 Evaluación general de la vulnerabilidad sísmica
- Nivel 2 Evaluación intermedia de la vulnerabilidad sísmica.
- Nivel 3 Evaluación detallada de la vulnerabilidad sísmica.

En cualquiera de los niveles de estudio planteado anteriormente se abordan los siguientes aspectos,

- Ubicación y caracterización general del área y/o de los elementos objeto de estudio
- Caracterización e influencia de las condiciones ingeniero geológicas en la variación del peligro sísmico y evaluación de la posibilidad de ocurrencia de fenómenos inducidos por las sacudidas sísmicas (agrietamiento y/o fallamiento, deslizamiento, licuefacción, asentamientos, etc).
- Evaluación del peligro sísmico del sitio o área objeto de estudio, en términos de aceleración, velocidad o desplazamiento del terreno, o sus valores espectrales o de la intensidad sísmica para diferentes probabilidades y periodo de vida útil de la edificación o los registros de diseño sísmico real o sintético.
- Clasificación de las construcciones y evaluación de su estado técnico constructivo (levantamiento e inventario) y realización de encuestas a las personas que la utilizan.
- Determinación experimental o por otros métodos, de las características dinámicas (Periodo y Amortiguación) y de las propiedades físico - mecánicas de los materiales de la edificación y de los suelos
- Evaluación de la vulnerabilidad estructural, no estructural y funcional, aplicando los métodos correspondientes al nivel de estudio deseado.
- Estimación de los niveles de daños y las pérdidas (Riesgo).
- Medidas para la reducción de la vulnerabilidad y/o realizar el Proyecto de intervención para la reducción de la vulnerabilidad)

Esta metodología se ha aplicado en la ciudad de Santiago de Cuba, la región de mayor peligro y riesgo sísmico de ese país.

2.4. PASOS EN EL PROCESO DE REVISIÓN DE LA LITERATURA

La información fue recolectada mediante:

- Textos: búsquedas en bibliotecas relacionadas al tema y recomendaciones de expertos en el tema.
- Revistas, papers: publicaciones relacionadas con el tema. Páginas de internet especializadas.
- Reportes técnicos: Es te tipo de información es básica ya que de aquí se tomaron importante cantidad de datos alfanuméricos utilizados en esta tesis.
- Manual de Software: se utilizó el nombre de software vía internet para descargar tutoriales.

2.5. FORMATO DE LA REVISIÓN DE LA LITERATURA

El formato de revisión de literatura que se utilizó para recopilar información fue por autor y tema, ya que existen autores reconocidos en temas relacionados a esta tesis, sin embargo resultó muy eficaz buscar por tema.

CAPITULO III METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Las tres principales categorías de diseño en la investigación son cualitativas, cuantitativas y un método híbrido, mixto (Neuman, 2005), en este estudio se optó por un método de investigación híbrido con el fin de responder adecuadamente la pregunta de investigación de este proyecto. En esta tesis, estamos enmarcados a obtener los mapas de Microzonificación Sísmica de la ciudad y de vulnerabilidad básica de las edificaciones. El proyecto se desarrolló en el marco de los SIG y un modelo cartográfico, que fueron un interfaz para la recolección, el análisis, la integración espacial de la información geográfica y finalmente la obtención de resultados.

Las etapas para la realización de este proyecto se resumen en la Tabla 1.

Etapa	Descripción
1. Planificación	- Recolección de la Información (datos disponibles), alfanuméricos, y cartográficos.
2. Diseño	- Diseño Conceptual del proyecto. Diagramas Entidad-Relación. - Diseño del Modelo SIG.
3. Análisis de los datos	- Procesamiento de los datos. - Aplicación del modelo cartográfico. - Interpretación de resultados
4. Resultados	- Conclusiones - Recomendaciones

Tabla 1 . Etapas de realización del estudio

3.1. PLANIFICACIÓN

Esta etapa se refiere a la recolección de la información disponible que fue utilizada para realizar este proyecto de tesis. Ver Tabla 2.

Tipo	Documentos	Fuente	Información a proporcionar para el proyecto
Cartográfica	Base Topográfica de Guaranda a escala 1:5000. Fuente: Municipio de Guaranda	Municipio de Guaranda	<ul style="list-style-type: none"> - Escala - Morfología - Tipo de pendientes.
Cartográfica	Mapa Base con levantamiento de las infraestructura de Guaranda a escala 1:5000.	Municipio de Guaranda	<ul style="list-style-type: none"> - Ubicación geo-referenciada de los predios utilizada como Base para la realización del levantamiento de la vulnerabilidad de las edificaciones de Guaranda ante sismos
Alfanumérica	Estudio de Evaluación de la Amenaza Sísmica para la Ciudad de Guaranda. Fuente:	Instituto geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2007	<ul style="list-style-type: none"> - Valores para la aceleración máxima esperada en roca durante un sismo.
Alfanumérica	Levantamiento Geológico de la depresión Guaranda. Fuente:	Escorza Luis, 1993, Tesis, Universidad Central del Ecuador,	<ul style="list-style-type: none"> - Geología Local de Guaranda - Geomorfología de Guaranda - Tectónica de Guaranda.
Alfanumérica	Metodología para la Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Guaranda”, como proyecto Fin de Master. Fuente.	Paucar, José Abelardo, 2011, Tesis, Universidad de Alicante	<ul style="list-style-type: none"> - Recolección de información de 14 sondeos SPT.
Alfanumérica	Levantamiento e inventario de alrededor de 4500 lotes de la ciudad, mediante observación visual de las construcciones.	Universidad Estatal de Bolívar, Escuela de Gestión del Riesgo	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de construcción - Material de construcción - Condición de mantenimiento
Alfanumérica	36 muestras de suelos, tomadas para clasificar los suelos según los SUCS.	Municipio de Guaranda	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de suelo, clasificación SUCS.

Tipo	Documentos	Fuente	Información a proporcionar para el proyecto
Alfanumérica	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio de calicatas / toma de 9 muestras no disturbadas de las diferentes capas de suelo tipo para estudios de Ensayos triaxiales no drenados. - 5 Pruebas de penetraciones dinámicas SPT a diferentes profundidades. 	Municipio de Guaranda.	<ul style="list-style-type: none"> - Valores de Cohesión. - Tipo de Suelo, clasificación SUCS - Valores de velocidad de cizalla de las ondas
Alfanumérica	<ul style="list-style-type: none"> - Ejecución de 10 medidas de Ensayos Down Hole sobre los diferentes estratos de suelos tipo en las mismas perforaciones de los SPT. 	Municipio de Guaranda.	<ul style="list-style-type: none"> - Valores de velocidad de cizalla de las ondas

Tabla 2. Datos cartográficos y alfanuméricos disponibles para el proyecto.

3.2. DISEÑO CONCEPTUAL DEL PROYECTO

En la etapa de diseño del proyecto, se realizó un diagrama lógico para el cual se siguió los pasos básicos del diseño lógico Entidad-Atributo-Relación (EAR). Ver Figura 3.

3.2.1. Identificación de las entidades

Las entidades fueron claramente identificadas de manera simple, siguiendo la regla que las cosas o sustantivos son las entidades y los adjetivos son los atributos. En el proyecto las entidades son: Mapa Geológico del estrato superior de la ciudad, Mapa Geomorfológico, Mapa Geotécnico y Mapa de Aceleración de Ondas, estas forman el Mapa de Microzonificación Sísmica, que dependerá o tomará las características principales de los submapas que ahora se convertirán en atributos. La entidad, Mapa de Vulnerabilidad Física de las edificaciones ante un sismo, se obtiene como resultado final del proceso, teniendo como atributos los indicadores Tipo, Material de construcción y condición de mantenimiento. Para efectos de obtener esta entidad, se considerará inicialmente que las edificaciones tipo de la ciudad de Guaranda, presentan una vulnerabilidad física, ante sismos. Es conveniente indicar que esta valoración es específica para esta ciudad y de este estudio en particular, según criterio del autor, pero la metodología podría aplicarse para evaluar la vulnerabilidad en otras ciudades.

3.2.2. Determinación de las relaciones.

Las relaciones entre entidades son las asociaciones entre estas, en nuestro caso tenemos en la mayoría de tablas o entidades, relaciones secuenciales uno a muchos ($1, \infty$), quiere decir que un lado de la relación puede asociarse con muchas instancias del otro lado, pero no viceversa.

Las entidades: Mapa de Microzonificación Sísmica y Mapa de vulnerabilidad de las edificaciones reúnen las características principales de las demás entidades.

3.2.3. Identificación de los atributos de las entidades.

Los atributos describen a las entidades, es decir son los adjetivos de estas. El factor más importante al momento de crear las entidades son las identificaciones de cada tabla, por ejemplo (Id Tipo de Suelo), que luego se convertirán en claves primarias que serán el nexo que la relacionará con las otras tablas.

3.3. DISEÑO DEL MODELO SIG

El Modelo SIG que se utilizó en el proyecto se puede observar en la Figura 4. En este modelo las entidades bases del mapa de Microzonificación van a ser reclasificadas, para luego someterse a un proceso de álgebra de mapas según las ponderaciones respectivas que se dieron a cada raster. El resultado final de este proceso es el Mapa de Microzonificación Sísmica.

Por otro lado en el mapa de vulnerabilidad básica de las construcciones se va a realizar a través de las ponderaciones normalizadas de las variables y la asignación de los nuevos valores para obtener el mapa final.

La elección de la plataforma SIG que se va a utilizar, es muy importante. El software elegido es ArcGIS de ESRI que es un software que nos permitirá visualizar, crear, manipular y gestionar la información geográfica.

Por otra parte el modelamiento de los datos de los ensayos downhole y obtención de Acelerogramas, espectros de respuesta y evolución de la aceleración pico se realizó mediante el software educativo gratuito EDUSHAKE.

3.4. JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SELECCIONADA

El modelo cartográfico. Figura 4, y el diagrama lógico de relación Entidad-Atributo. Figura 3, son muy explicativos y básicos, fácilmente se puede observar la función y el orden que se siguió para realizar el proyecto. Esta metodología de

investigación es de tipo mixto, método híbrido, (Neuman, 2005), ya que se van a realizar análisis basados en publicaciones científicas y además se van a utilizar criterios lógicos asumidos por el autor. Esta metodología es aplicativa para realizar la microzonificación y evaluación básica de la vulnerabilidad de las edificaciones de una ciudad pequeña como Guaranda, sin gran cantidad de datos, optimizando el uso de los SIG en todo el proceso.

3.5. HERRAMIENTAS DE INVESTIGACIÓN UTILIZADAS

Las siguientes fueron las herramientas principales para la realización de este estudio:

- Documentos y datos disponibles, se recolectó toda la información disponible para obtener las entidades que formaron parte del mapa de microzonificación, además se recopiló la información de observación de las variables constructivas que a su vez fueron levantadas por los estudiantes de la Facultad de gestión del Riesgo de la Universidad de Bolívar.
- Observación directa en campo para recolectar datos geológicos, geotécnicos, geomorfológicos y sísmicos para formar las respectivas entidades.
- Experimental, ya que en esta tesis se propone optimizar los SIG con un modelo cartográfico, empírico, aplicable, pero no establecido para obtener los mapas respectivos.

3.6. DESCRIPCIÓN DE PARTICIPANTES

El participante principal será el ejecutor de esta tesis, además el Municipio de la Ciudad de Guaranda y un grupo de profesores y estudiantes de la Universidad de Bolívar, Facultad de Gestión del Riesgo. Finalmente la población en general de la ciudad.

3.7. CARACTERÍSTICAS ESPECIALES RELACIONADAS CON EL ESTUDIO

Guaranda, como capital de la provincia de Bolívar, cuenta aproximadamente con 25.000 habitantes aproximadamente (zona urbana). En todo el Cantón la población llega a alrededor de 65.000 habitantes. www.guaranda.gob.ec. El estudio estará enfocado en el área urbana de la ciudad que abarca alrededor de 20 km².

DISEÑO LÓGICO DEL PROYECTO

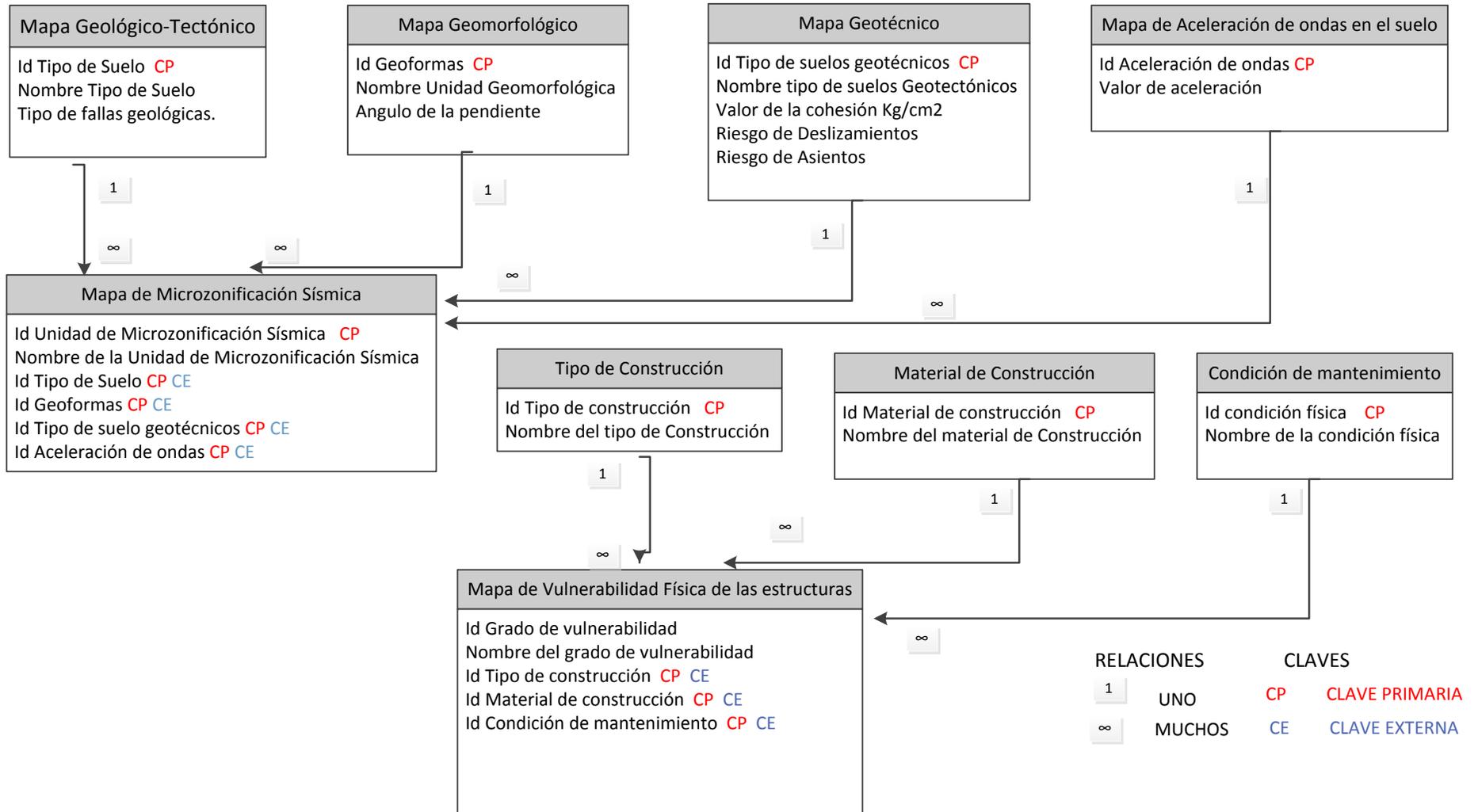


Figura 3. Diagrama Lógico Entidad-Atributo-Relación (EAR), utilizado en el proyecto.

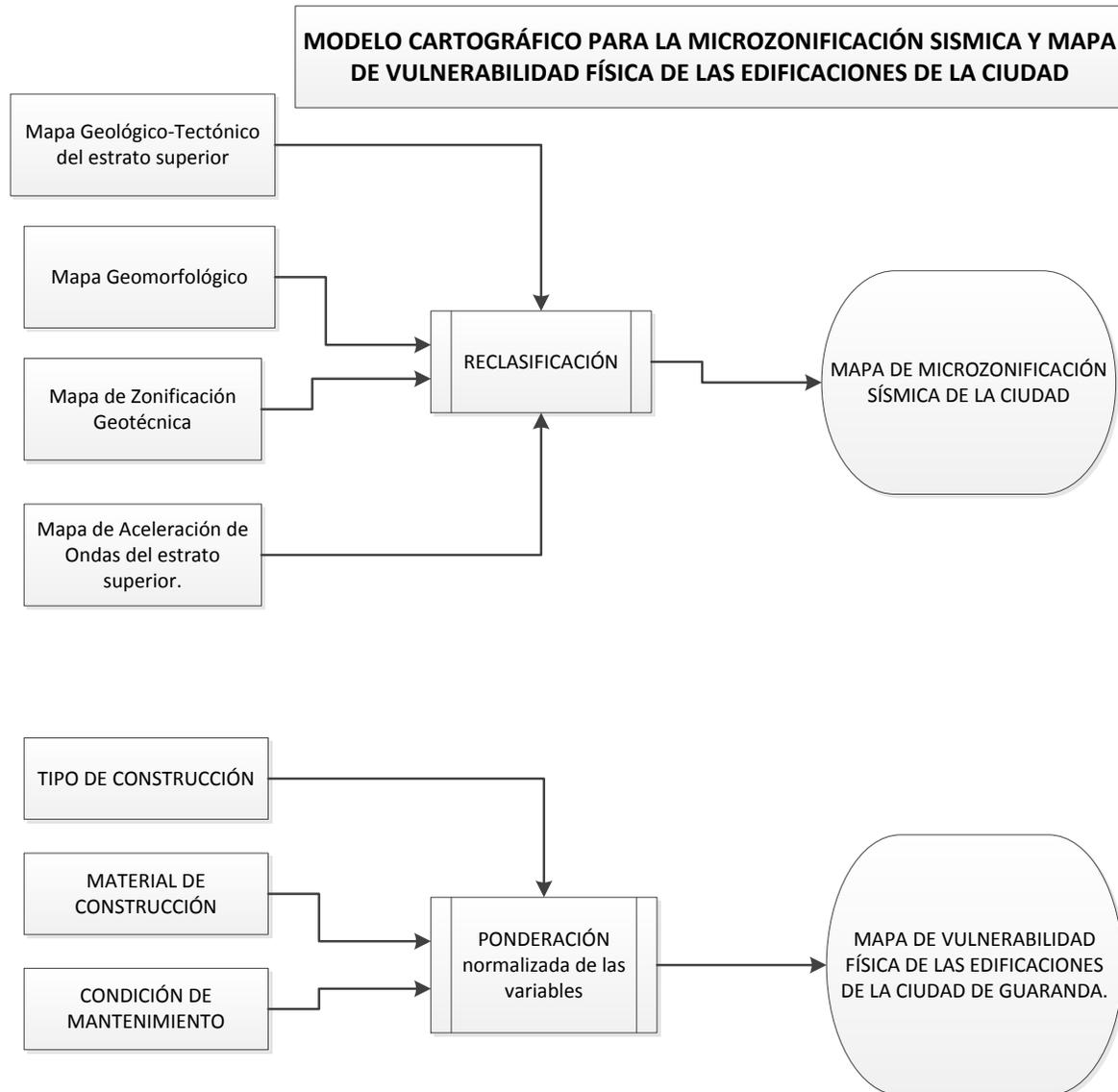


Figura 4. Modelo cartográfico aplicado en el proyecto.

CAPITULO IV ANÁLISIS DE DATOS

Como se observa en el modelo cartográfico, Ver Figura 4, y el diagrama lógico, Ver Figura 3, del proyecto, los aspectos más importantes que reúne este estudio de microzonificación sísmica son:

- Características Geológicas de los suelos y rocas, ya que las edificaciones de la ciudad están sobre estos suelos superficiales. Además existen otras características geológicas muy importantes y que son determinantes al momento de producirse un sismo, como las fallas geológicas, el tipo de morfología de los paisajes (Geomorfología), ya que el grado de afectación y amplificación dependerá de estas características.
- Propiedades geotécnicas de los suelos como: tipo de suelo, plasticidad, profundidad de niveles freáticos, humedad, cohesión, consistencia, vulnerabilidad ante subsidencias de suelo y deslizamientos. Todas estas propiedades influyen en la entidad Mapa Geotécnico.
- Propiedades dinámicas de los suelos, velocidad de las ondas de corte obtenidas mediante el ensayo Down Hole, estos datos fueron modelados a través del software libre EDUSHAKE que permite obtener resultados y gráficos de: acelerogramas de entrada y salida; los correspondientes espectros de respuesta; y la evolución de la aceleración pico de cada sitio de estudio.
- El resultado son los diferentes mapas: Geológico del Estrato Superior de la Ciudad de Guaranda, Mapa Geomorfológico, Mapa Geotécnico y el Mapa de Aceleraciones de ondas del estrato superior. Estos submapas permiten la construcción del Mapa de Microzonificación Sísmica.

- Como complemento al estudio de Microzonificación Sísmica se realizó la Evaluación Básica Física de las Construcciones en la ciudad de Guaranda, dado que se disponía del Catastro Municipal, predio por predio, en formato digital. Además de cerca de 4500 datos con diferentes indicadores de vulnerabilidad realizada por los estudiantes de la Universidad Estatal de Bolívar, Escuela de Gestión del Riesgo, año 2011.

4.1. MAPA GEOLÓGICO-TECTÓNICO DEL ESTRATO SUPERIOR DE LA CIUDAD

4.1.1. Datos Disponibles

4.1.1.1. Muestras con resultados del Sistema Unificado de Clasificación de suelos

En la Tabla 3, se observa las muestras tomadas para análisis SUCS, que son la base del mapa geológico. Además en la Figura 5 se observa la ubicación de estos puntos.

X	Y	Z	Muestra	SUCS	W	Tipo_Suelo
721741	9828031	2956	GA-01-02	MH	76.7	limo arcilloso de alta plasticidad
722615	9828064	2950	GA-02-01	MH	72.5	limo arcilloso de alta plasticidad
720854	9827280	2973	GA-03-01	SM	2.6	arena
720855	9827281	2973	GA-03-02	SM-SC	41.3	arena
721764	9827114	2906	GA-04-01	ML-CL	32.3	limo de baja plasticidad
722471	9827087	2908	GA-05-01	MH	62.7	limo arcilloso de alta plasticidad
721083	9826080	2888	GA-06-01	SM	39.4	arena
722857	9826128	2822	GA-07-01	MH	68.4	limo arcilloso de alta plasticidad
722119	9825779	2837	GA-08-01	SP-SM	4.5	arena
721703	9825603	2878	GA-09-01	SM-SC	43.4	arena
721614	9825120	2844	GA-10-01	MH	45.5	limo arcilloso de alta plasticidad
722268	9825022	2820	GA-11-01	SM-SC	56.6	arena
722780	9825092	2800	GA-12-01	SM-SC	46.1	arena
723314	9824521	2747	GA-13-01	SM-SC	33.7	arena
723551	9824671	2667	GA-14-01	SM	36.6	arena

722788	9824626	2781	GA-15-01	MH	55	limo arcilloso de alta plasticidad
722250	9824637	2811	GA-16-01	MH	83.9	limo arcilloso de alta plasticidad
721736	9824619	2860	GA-17-01	MH	55.5	limo arcilloso de alta plasticidad
721770	9824089	2787	GA-18-01	ML-CL	29.2	limo de baja plasticidad
722262	9824058	2701	GA-19-01	MH	50.3	limo arcilloso de alta plasticidad
722812	9824099	2680	GA-20-01	SM-SC	49.6	arena
723305	9824132	2688	GA-21-01	MH	55.6	limo arcilloso de alta plasticidad
722648	9823568	2631	GA-22-01	MH	44.5	limo arcilloso de alta plasticidad
722197	9823648	2689	GA-23-01	ML-CL	35.5	limo de baja plasticidad
721754	9823572	2793	GA-24-01	SM-SC	34	arena
721861	9823192	2800	GA-25-01	SM	30.5	arena
722778	9823132	2620	GA-26-01	SM	28.4	arena
723060	9822996	2601	GA-27-01	SW	1.1	arena
722227	9821644	2569	GA-28-01	MH	43.1	limo arcilloso de alta plasticidad
722774	9822052	2623	GA-29-01	CL	30.7	limo de baja plasticidad
723587	9822245	2684	GA-30-01	MH	67.5	limo arcilloso de alta plasticidad
724305	9823108	2752	GA-31-01	ML-CL	50.4	limo de baja plasticidad
724267	9823645	2761	GA-32-01	ML-CL	35.7	limo de baja plasticidad
722117	9823474	2647	GA-33-01	ML-CL	41.3	limo de baja plasticidad

Tabla 3. Coordenadas de las muestras y valores principales de los ensayos SUCS.

Fuente: Datos proporcionados por el Municipio de Guaranda (2011).

4.1.1.2. Afloramientos de Suelo.

En la Tabla 4, se observa el tipo de suelos encontrados en afloramientos, cortes de carreteras, quebradas, esta información ayuda a complementar los resultados SUCS. En la Figura 5 se observa la ubicación de estos puntos.

X	Y	Z	AFLORAMIENTO	Tipo_Suelo
722284	9827461	2898	1	limo arcilloso de alta plasticidad
721828	9825788	2886	2	arena
721780	9826040	2851	3	arena
722691	9825618	2780	4	limo arcilloso de alta plasticidad
722119	9825779	2837	5	arena
721941	9824613	2828	6	limo arcilloso de alta plasticidad
722268	9825022	2820	7	arena
722780	9825092	2800	8	arena
723094	9825058	2762	9	roca

723551	9824671	2667	10	arena
722250	9824637	2811	11	limo arcilloso de alta plasticidad
721770	9824089	2787	12	limo de baja plasticidad
723296	9823511	2671	13	arena
723302	9823568	2652	14	arena
722648	9823568	2631	15	limo arcilloso de alta plasticidad
721861	9823192	2800	16	arena
722210	9823100	2620	17	arena
722778	9823132	2620	18	arena
723138	9823050	2621	19	roca
723060	9822996	2601	20	roca
722227	9821644	2569	21	limo arcilloso de alta plasticidad
722225	9822124	2583	22	arena
722774	9822052	2623	23	limo arcilloso de alta plasticidad
722104	9822836	2607	24	arena
723678	9824629	2671	25	arena
722554	9823021	2627	26	arena
722117	9823474	2647	27	limo de baja plasticidad

Tabla 4. Coordenadas de los afloramientos observados y tipo de suelo.

UBICACIÓN DE MUESTRAS PARA SUCS, AFLORAMIENTOS Y FALLAS GEOLÓGICAS.

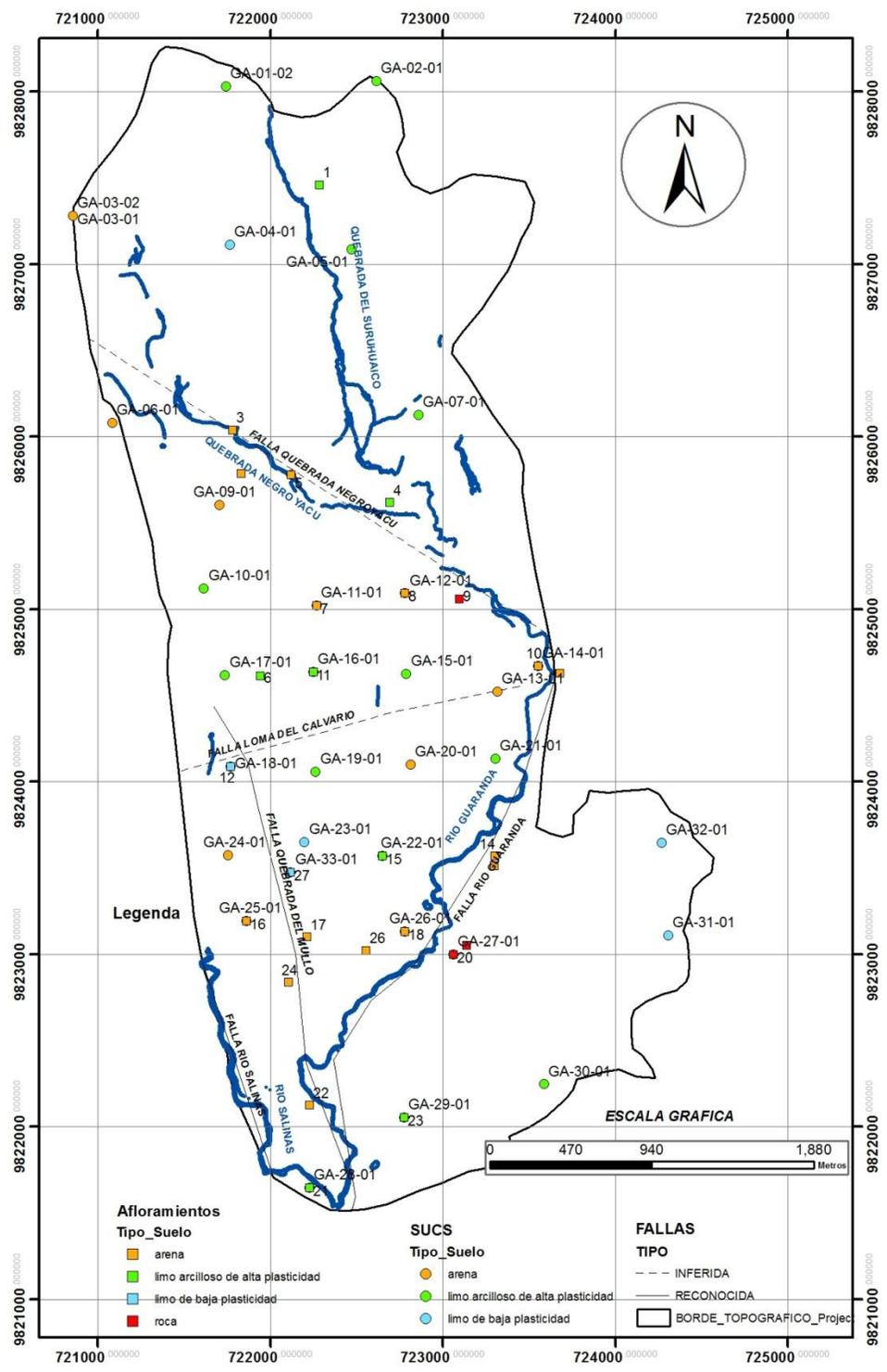


Figura 5. Ubicación de puntos, para SUCS, Afloramientos y fallas geológicas.

4.1.1.3. Fallas Geológicas

Se definieron una serie de fallas geológicas, generalmente coinciden con los ríos. Ver Figura 5.

4.1.2. Procesamiento de los Datos

Creación de las tablas en Arc Map: Para subir las tablas a ArcMap se realiza a través de xy data, escoger las columnas x, y, z, georeferenciar las tablas. A continuación exportar los datos como shapefile y se pueden procesar los datos. Ver Figura 6.

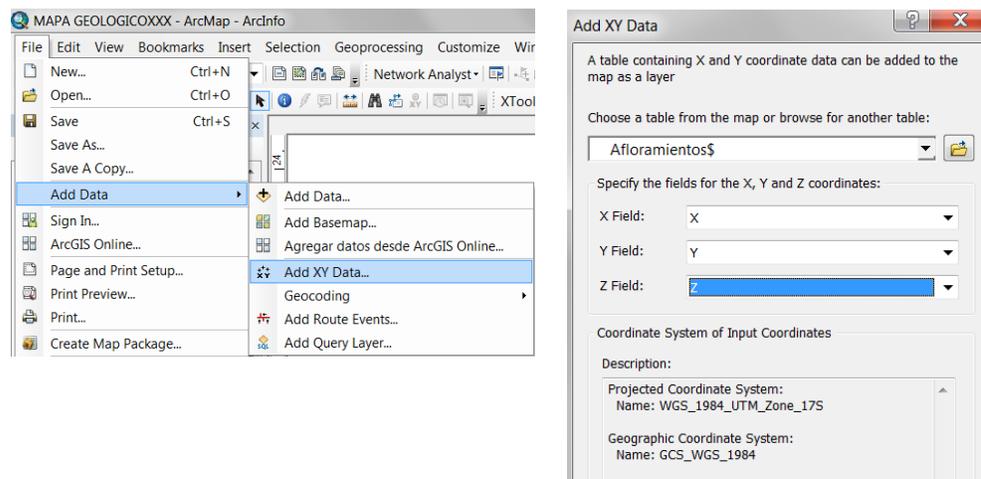


Figura 6. Proceso para crear las tablas en ArcMap.

Asignación de ponderaciones: Es necesario añadir un campo a las tablas, a continuación seleccionar por atributos, ejemplo “arena” y asignar la ponderación “3”. En la Tabla 5 se muestra las ponderaciones asignadas de acuerdo al tipo de suelo, al final unimos las tablas. Ver Figura 7.

Tipo_Suelo	Ponderación
limo arcilloso de alta plasticidad	1
limo de baja plasticidad	2
arena	3
roca	4

Tabla 5. Ponderación de los tipos de suelo.

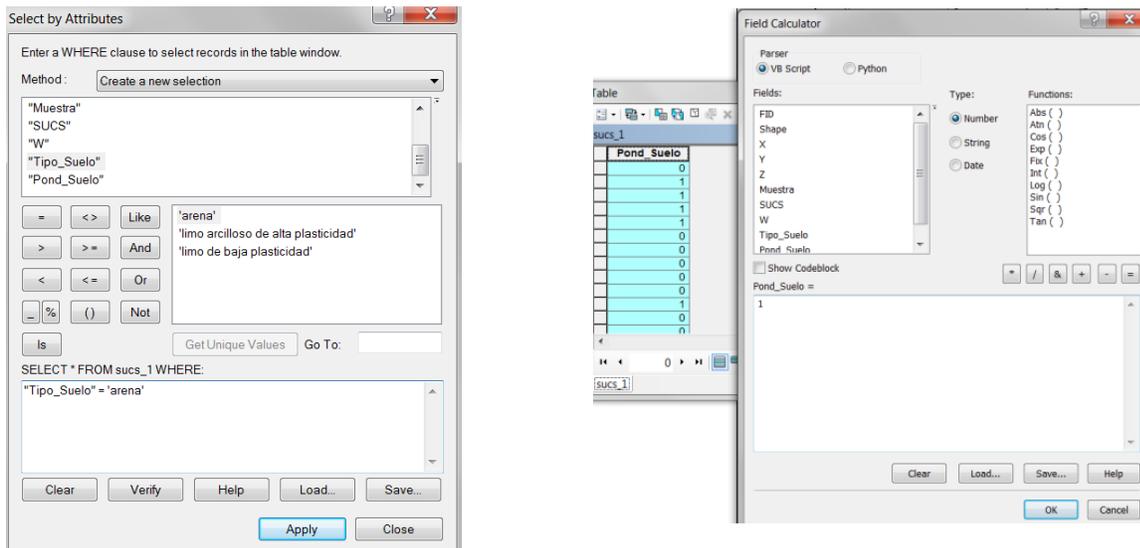


Figura 7. Asignación de ponderaciones del tipo de suelo

Interpolación de datos del tipo de suelo: se realizó la interpolación de datos, a partir de la tabla de unión de afloramientos y sucs. Se utilizó la herramienta Spatial Analyst, Interpolation, Natural Neighbor. Se escogió este método luego de hacer varias pruebas, siendo esta la mejor opción para el tipo y distribución de puntos de la base de datos. Ver Figura 8.

A continuación usar la herramienta reclasificar, dando valores más altos a rocas-arenas y más bajos a limos y arcillas. Ver Figura 8

Como siguiente paso, el mapa requiere ser expandido para cubrir toda el área de estudio, ya que al momento de realizar el álgebra de mapas, se necesita que cubran igual espacio geográfico. Esto se realiza a través de la herramienta Expand. Finalmente el mapa necesita ser cortado con el polígono borde topográfico por la Herramienta Extract by Mask Ver Figura 8

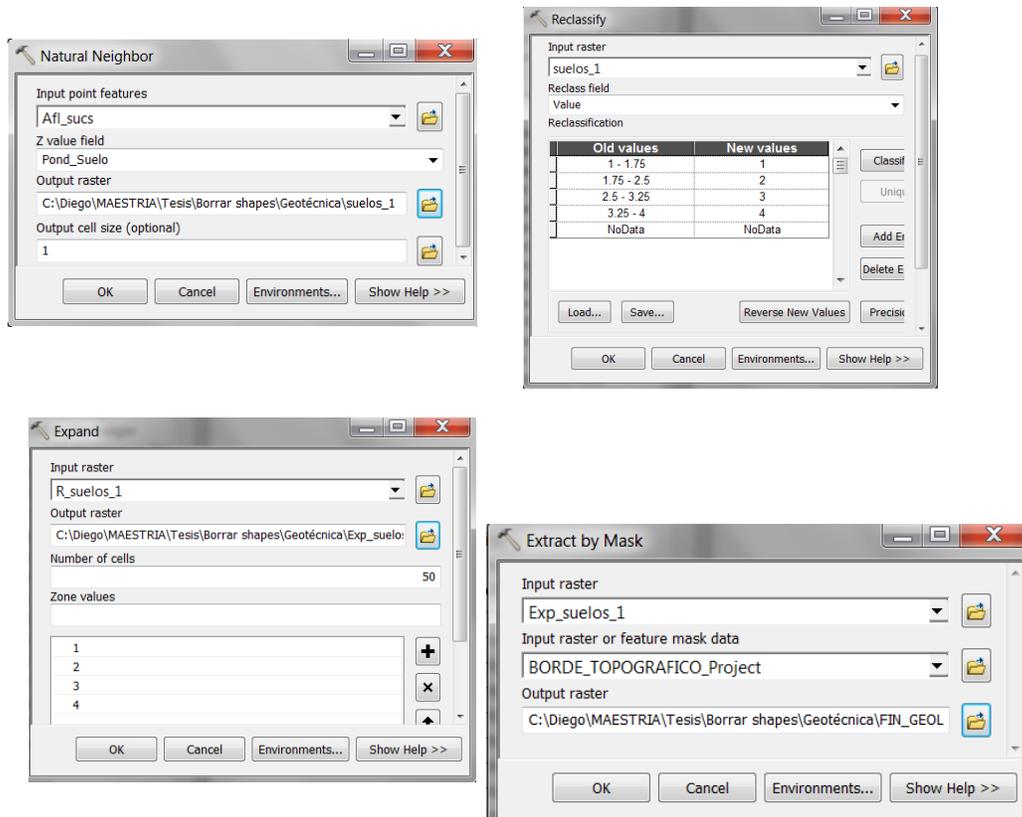


Figura 8. Proceso para la interpolación y Obtención del Mapa Geológico.

4.1.3. Descripción del Mapa Geológico-Tectónico del estrato superior de la ciudad

El mapa final que resulta de este proceso se muestra en la Figura 9.

El mapa está realizado sobre el estrato superior, es decir sobre los suelos, en los cuáles se encuentra cementada las edificaciones de la Ciudad de Guaranda. Este

mapa está basado en la información proporcionada por los ensayos tipo SUCS, además por la descripción de los suelos al observar afloramientos. Finalmente por la ubicación y tipo de fallas geológicas.

Al observar los diferentes tipos de suelo, se puede diferenciar claramente que en las partes bajas con morfología plana, se presentan suelos negros, plásticos, limo-arcillosos inorgánicos de baja plasticidad, húmedos, derivados de la meteorización de rocas volcánico-clásticas tipo tobas de composición intermedia, a medida que aumenta la pendiente, los suelos aflorantes son del tipo cangagua de composición intermedia, marrón amarillenta, tipo arena. En las partes altas de las cordilleras afloran materiales tipo lapilli, con fragmentos de pómez gruesos (arenoso grueso), no consolidados. Por otro lado en el núcleo de las colinas en los cortes de carreteras y partes bajas de las quebradas se observan rocas andesitas. En los márgenes del Río Guaranda existen materiales aluviales y laharíticos.

Finalmente, existen 3 fallas claramente identificables Falla Río Guaranda, Falla Río Salinas y Falla Quebrada Negroyacu (Escorza, Luis, 1993), las mismas que coinciden con el levantamiento de las colinas dentro del área urbana de Guaranda, por tanto estas fallas activas podrían ser canales de liberación de energía al momento de un sismo. Ver Figura 9.

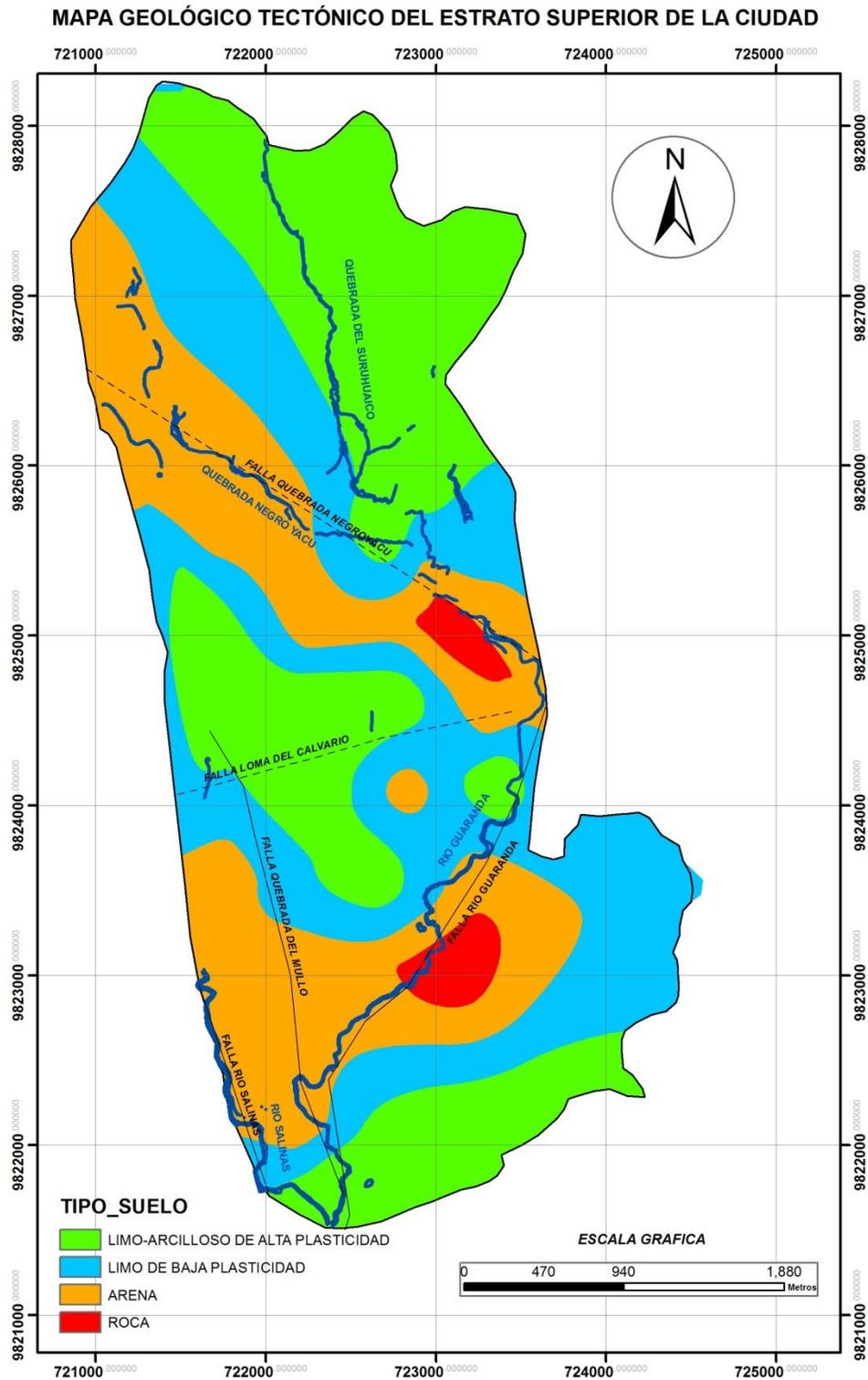


Figura 9. Mapa Geológico-Tectónico del estrato superior de la ciudad.

4.2. MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA CIUDAD

4.2.1. Datos disponibles

4.2.1.1. Curvas de Nivel

El archivo de partida para la realización del mapa Geomorfológico, son las curvas de nivel, la diferencia de cotas está alrededor de 2500m a 3000m, las curvas están representadas cada 5m. Ver Figura 10.

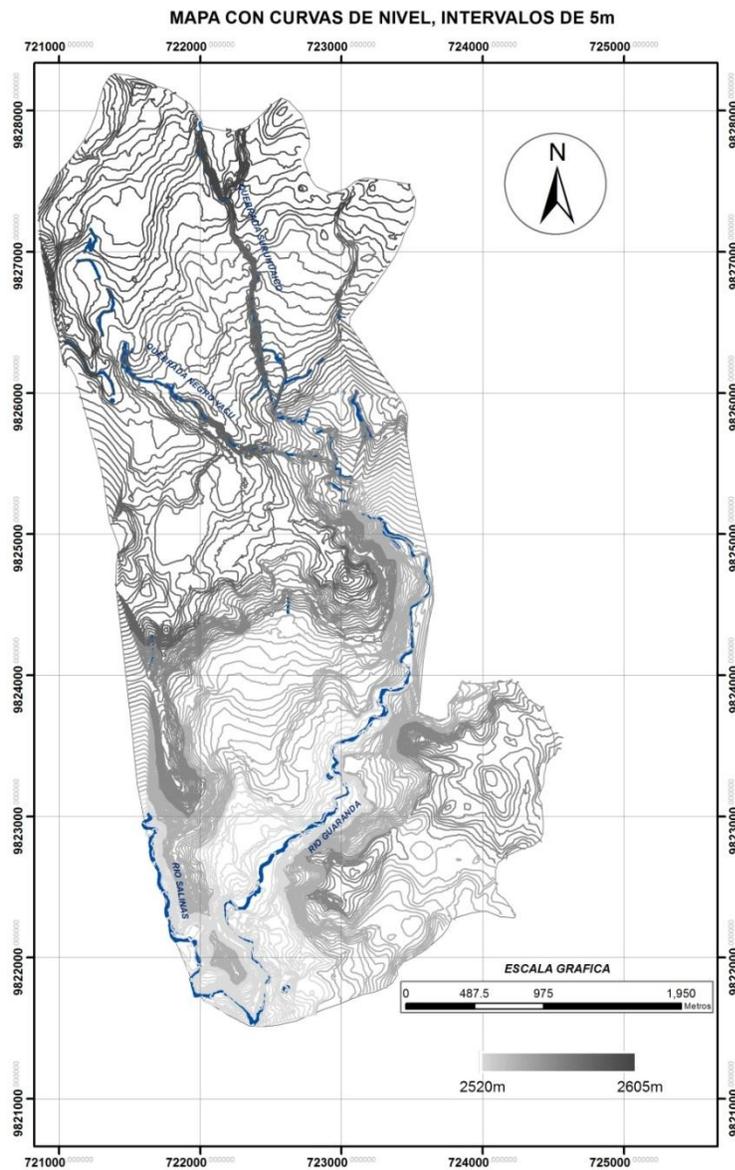


Figura 10. Mapa con curvas de nivel.

4.2.2. Procesamiento de los Datos

4.2.2.1. Mapa de Pendientes

A partir del mapa de curvas de nivel se creó un mapa de pendientes, para lo cual, lo primero es crear un TIN, mediante la herramienta 3D Analyst, a continuación se puede crear el mapa de pendientes a través de Spatial Analyst, Surface Slope, Ver Figura 11 y Figura 13.

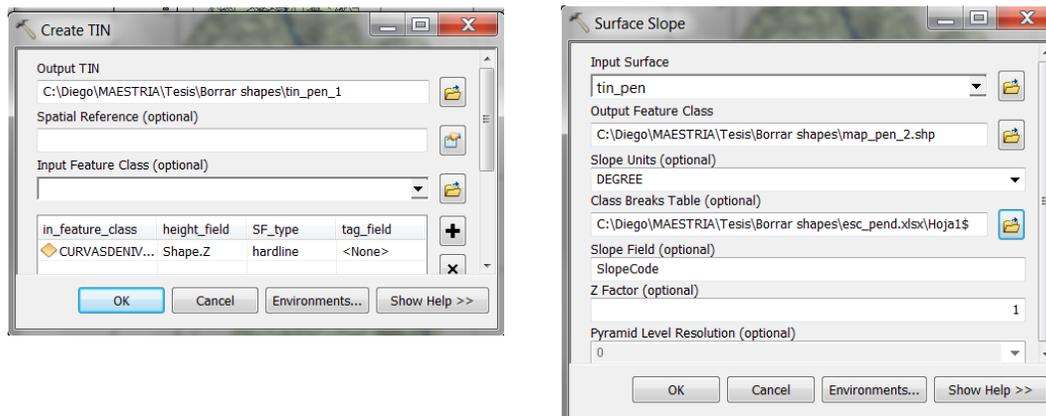


Figura 11. Creación del TIN y Mapa de Pendientes.

4.2.2.2. Creación del Mapa Geomorfológico

A partir del Mapa de Pendientes, se añade un campo a la tabla de Atributos de Pendiente, luego seleccionar por atributos las diferentes pendientes y a través del field calculator asignar las ponderaciones a las geformas correspondientes a cada pendiente de acuerdo a la Tabla 6. Ver Figura 12. Al final obtenemos el mapa Geomorfológico.

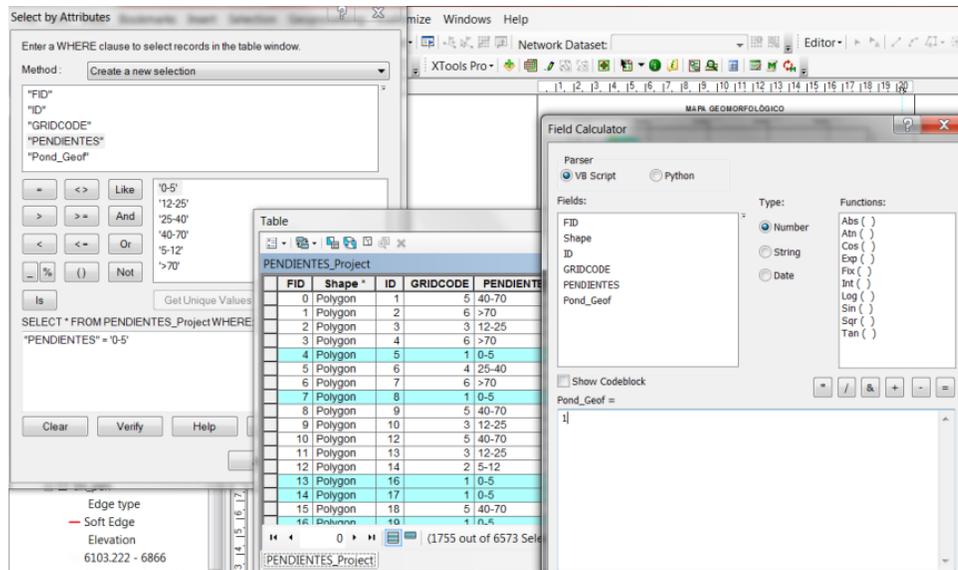


Figura 12. Asignación de la ponderación para el mapa geomorfológico.

Pendiente	Geoforma	Ponderación
0 a 12	Mesetas	3
12 a 25	Loma	2
>25	Colinas	1

Tabla 6. Valores utilizados en la ponderación de las geoformas.

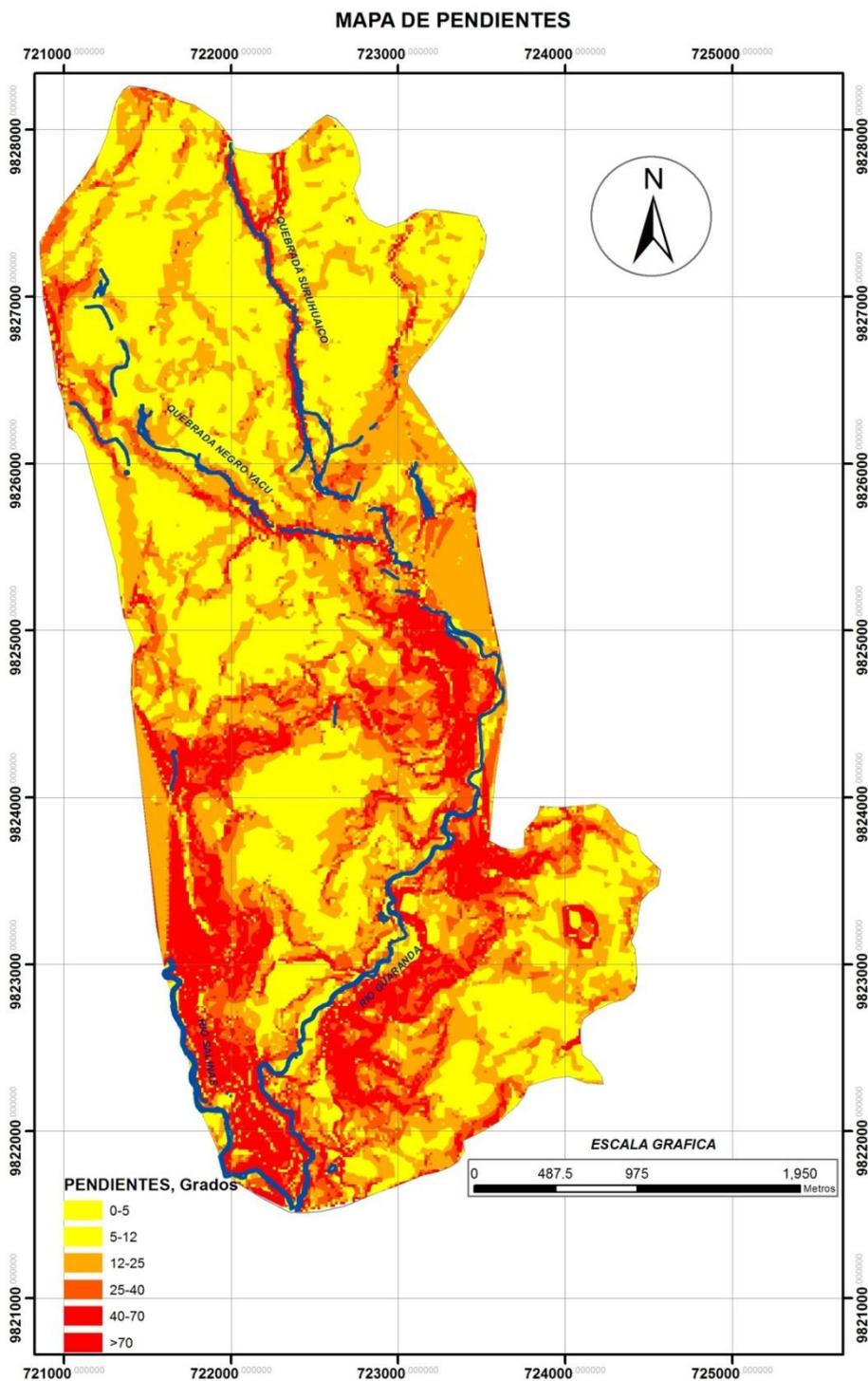


Figura 13. Mapa de Pendientes

4.2.3. Descripción del Mapa Geomorfológico

El mapa final que resulta de este proceso se muestra en la Figura 14.

En el mapa se distinguen principalmente 3 tipos de geoformas:

Mesetas: Que son planicies extensas situadas a una determinada altitud promedio de 2640m, provocada por fuerzas tectónicas o bien por erosión del terreno circundante. En el área de estudio, existen varias mesetas con pendientes entre 0 y 12% y se pueden agrupar en 4 grandes mesetas compuestas principalmente de suelo orgánico negro, orgánico arcilloso, plástico, derivado de la meteorización de tobas.

Lomas: Una loma es una elevación del terreno de poca altura, normalmente de forma redondeada, que viene a ser el primer grado después de la meseta. Esta geoforma está representada por la zona de transición entre las mesetas y colinas. La pendiente de este paisaje está en el rango entre 12 y 25% y está compuesta principalmente por materiales limosos inorgánicos de alta plasticidad y en algunos sectores por materiales coluviales de pie de monte.

Colinas: Es un tipo de accidente geográfico que se refiere a una eminencia del terreno que no supera los 100 metros de altura. En el caso de Guaranda estas geoformas están en el rango de pendientes mayores al 25% y corresponden en la mayoría a la denominada pequeña cordillera de Guaranda (Escorza, Luis 1993), de rumbo Norte-Sur, estas elevaciones alcanzan una altura promedio de 2750m. Los materiales piroclásticos que forman estas colinas son mayormente tipo arenosos-lapilli. Al Este de la Ciudad existe otra pequeña cordillera compuesta de una serie de colinas que limitan a las mesetas y están compuestas principalmente por materiales tobáceos y además afloran rocas andesitas. Ver Figura 14.

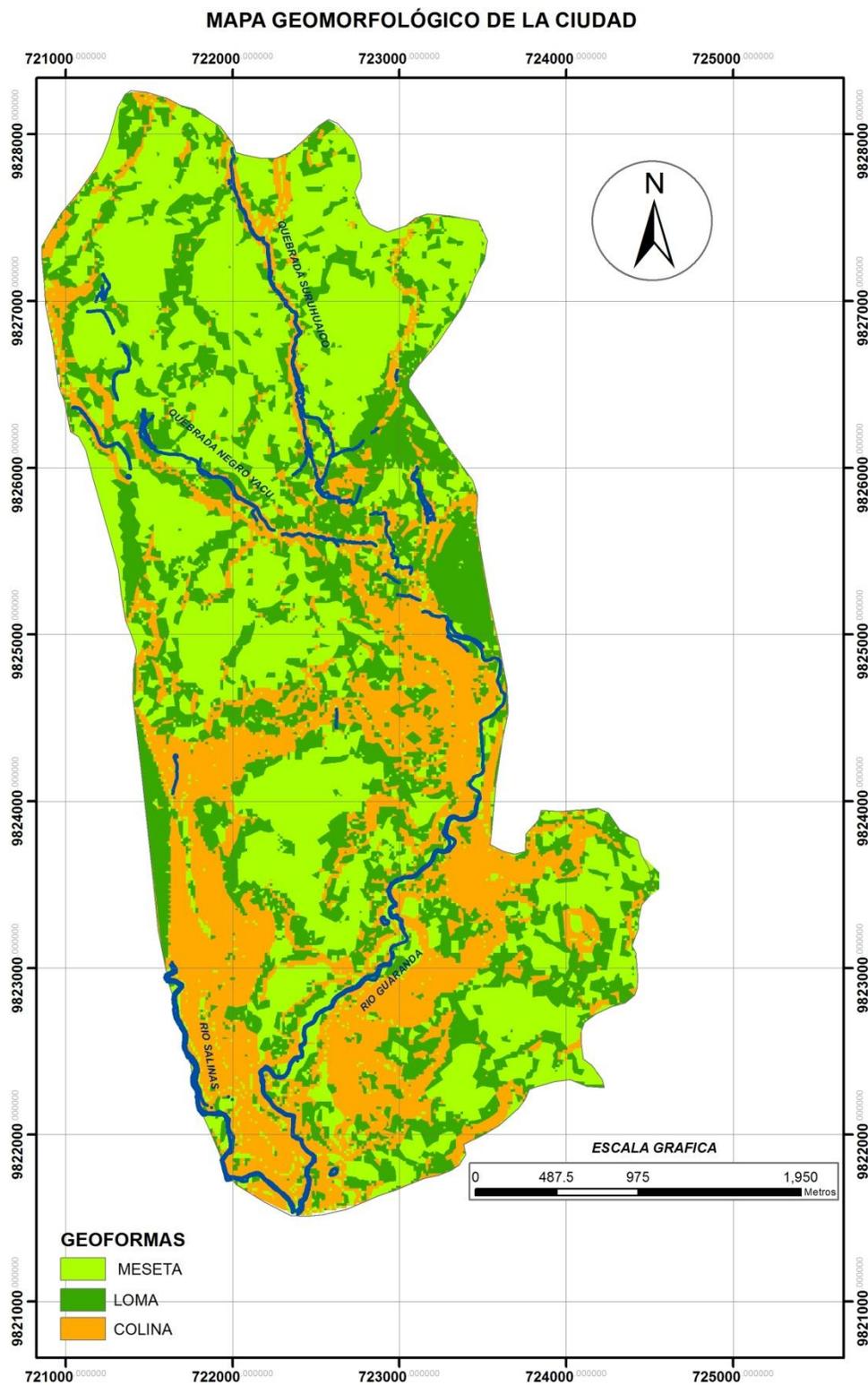


Figura 14. Mapa Geomorfológico de la ciudad.

4.3. MAPA GEOTÉCNICO DE SUELOS

4.3.1. Datos Disponibles

4.3.1.1. Muestras con resultados SUCS

Al tener los resultados SUCS de los diferentes tipos de suelo, Ver Tabla 3, se puede correlacionar esta información con tabla de las características principales de los suelos basados en la clasificación SUCS (Tomada de Reglamento Argentino de Estudios Geotécnicos Reglamento CIRSOC 401. Cap. 8 – 180). Los campos que se tomaron en cuenta para la realización del mapa geotécnico son la amenaza de subsidencias de suelo y amenaza de deslizamientos de taludes, ya que son determinantes al momento que ocurre un sismo. Ver Tabla 7.

SIMBOLO SUCS	TIPO DE SUELO	AMENAZA DE SUBSIDENCIAS DE SUELO	AMENAZA DE DESLIZAMIENTOS DE TALUDES
GW	Gravas limpias bien graduadas	Bajísimo	Muy bajo
GP	Gravas limpias mal graduadas	Muy Bajo	Bajo
SW	Arenas limpias bien graduadas	Bajísimo	Muy bajo
SP	Arenas limpias mal graduadas	Muy Bajo	Bajo
GC	Gravas arcillosas	Bajo	Muy Bajo
SC	Arenas arcillosas	Bajo	Bajo
GM	Gravas limosas	Bajo	Bajo
SM	Arenas limosas	Bajo	Bajo a medio
ML	Limos de baja plasticidad	Medio	Medio
CL	Arcillas de baja plasticidad	Medio	Medio a alto
MH	Limos de alta plasticidad	Alto	Medio a alto

CH	Arcillas de alta plasticidad	Muy alto	Alto
O	Suelos orgánicos	Altísimo	-

Tabla 7. Características principales de los suelos basados en la clasificación SUCS,
Fuente: Tomada y modificada del Reglamento Argentino de Estudios Geotécnicos Reglamento CIRSOC 401. Cap. 8 – 180. Modificaciones: Riesgo por Amenaza, Asientos por Subsistencia de suelo.

4.3.1.2. Valores de cohesión, resultado de ensayos Triaxiales y Ensayos de Penetración Estándar SPT

Existen un total de 9 muestras indisturbadas cúbicas, ubicadas en lugares específicos y sobre niveles de suelo tipo, a diferentes profundidades. Mediante estos ensayos se obtiene directamente el valor de la cohesión. Ver Tabla 8 y Figura 15.

CALICATA	X	Y	Z	Cohesión Kg/cm ²	Angulo de Fricción	Humedad	Densidad
GC-01-01	722274	9827459	2905	0,99	24,23	59,7	1,38
GC-02-01	721881	9826591	2876	0,51	22,78	43,8	1,301
GC-03-01	721704	9825953	2858	1,5	44,42	18,4	1,34
GC-04-01	723002	9825004	2793	2,2	56,13	21,2	1,715
GC-05-01	722801	9824115	2701	0,03	39,69	52,6	1,481
GC-06-01	722071	9824207	2724	2,31	16,44	31,8	1,655
GC-07-01	722141	9823457	2648	2,1	51,78	9,1	1,663
GC-08-01	722559	9823020	2602	2	54,65	8,8	1,649
GC-09-01	722747	9822067	2612	0,63	26,79	27,6	1,641

Tabla 8. Ubicación de los ensayos triaxiales y valores obtenidos en este ensayo.

Fuente: Datos proporcionados por el Municipio de Guaranda (2011).

Además se cuenta con 5 ensayos SPT, en diferentes lugares y profundidades, esta información fue utilizada en la caracterización geotécnica de la ciudad. Ver tabla 9 y Figura 15.

SONDEO	X	Y	Z
GS-01	721802	9828053	2974
GS-02	721912	9826534	2873
GS-03	721947	9823820	2723
GS-04	721980	9825057	2830
GS-05	723577	9822230	2682

Tabla 9. Coordenadas de las perforaciones SPT

Fuente: Datos proporcionados por el Municipio de Guaranda (2011).

Adicionalmente existen 14 sondeos recopilados por Abelardo Paucar, 2011, realizada en diferentes estudios de suelos en la ciudad. Ver Tabla 10 y Figura 15.

SONDEO	X	Y
GS-06	721496	9827634
GS-07	721384	9827081
GS-08	721494	9825975
GS-09	721716	9824758
GS-10	721938	9824647
GS-11	722717	9823872
GS-12	722494	9823651
GS-13	722160	9823430
GS-14	722160	9823873
GS-15	721826	9823984
GS-16	721937	9823209
GS-17	722270	9822656
GS-18	723717	9822433
GS-19	722158	9821329

Tabla 10. Coordenadas de las perforaciones SPT.

Fuente: Datos Recopilados por Paucar, Abelardo, 2011 en su proyecto "Metodología para la Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Guaranda". Los datos de estos sondeos fueron utilizados para correlacionar con la información actual. Fuente: Estudios de mecánica de suelo de: (1). Ing. Lina Rodríguez (consultora particular). (2). Universidad E. Bolívar. (3). Gobierno Municipal de Guaranda. (4). Cuerpo de Bomberos de Guaranda. (5). Empresa consultora DIGECONSA

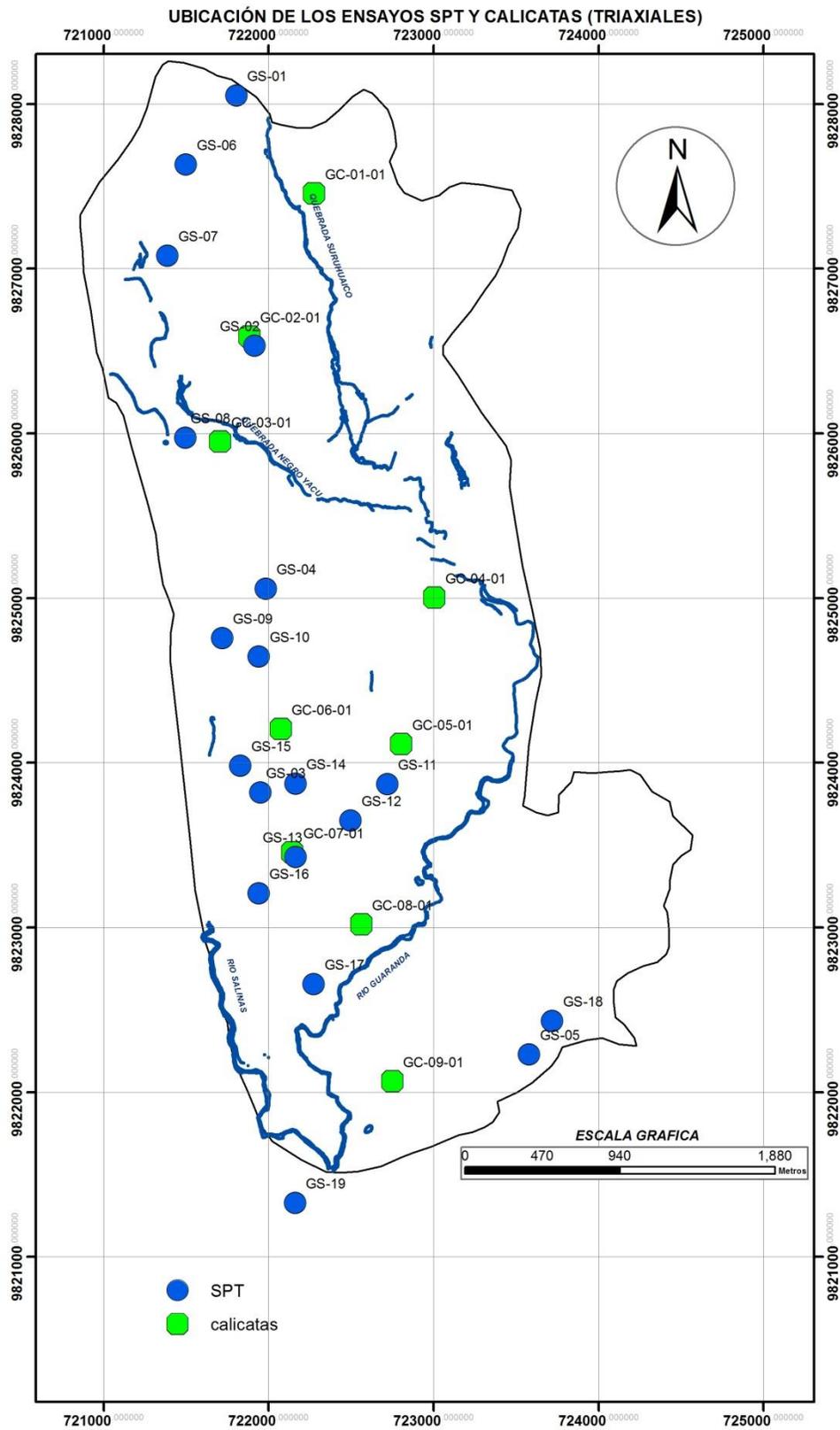


Figura 15. Ubicación de Calicatas y SPT.

4.3.2. Procesamiento de los Datos

4.3.2.1. Mapa de la Variables Amenaza de Subsidiencias de suelo y Amenaza de Deslizamientos de taludes de los suelos, basados en los SUCS

Estas variables brindan mucha información para la caracterización del suelo en la ciudad y se obtienen mediante correlaciones empíricas a partir de los resultados SUCS. Los Mapas respectivos se observan en las Figuras 18 y 19.

Asignación de las Ponderaciones: Este mapa fue realizado de acuerdo a las ponderaciones asignadas de acuerdo a las Tablas 11 y 12, las cuáles están correlacionadas directamente con el tipo de suelo (SUCS). Los valores más altos, 6 se refieren a la menor amenaza y 1 mayor amenaza. Ver Figura 16.

SIMBOLO SUCS	TIPO DE SUELO	AMENAZA DE SUBSIDIENCIAS DE SUELO	DE DE	PONDERACIÓN
GW	Gravas limpias bien graduadas	Bajísimo		6
GP	Gravas limpias mal graduadas	Muy Bajo		5
SW	Arenas limpias bien graduadas	Bajísimo		6
SP	Arenas limpias mal graduadas	Muy Bajo		5
GC	Gravas arcillosas	Bajo		4
SC	Arenas arcillosas	Bajo		4
GM	Gravas limosas	Bajo		4
SM	Arenas limosas	Bajo		4
ML	Limos de baja plasticidad	Medio		3
CL	Arcillas de baja plasticidad	Medio		3
MH	Limos de alta plasticidad	Alto		2
CH	Arcillas de alta plasticidad	Muy alto		1
O	Suelos orgánicos	Altísimo		1

Tabla 11. Asignación de las ponderaciones de acuerdo a la variable Amenaza de Subsidiencias de suelo.

SIMBOLO SUCS	TIPO DE SUELO	AMENAZA DE DESLIZAMIENTOS DE TALUDES	PONDERACIÓN
GW	Gravas limpias bien graduadas	Muy bajo	6
GP	Gravas limpias mal graduadas	Bajo	5
SW	Arenas limpias bien graduadas	Muy bajo	6
SP	Arenas limpias mal graduadas	Bajo	5
GC	Gravas arcillosas	Muy Bajo	6
SC	Arenas arcillosas	Bajo	5
GM	Gravas limosas	Bajo	5
SM	Arenas limosas	Bajo a medio	4
ML	Limos de baja plasticidad	Medio	3
CL	Arcillas de baja plasticidad	Medio a alto	2
MH	Limos de alta plasticidad	Medio a alto	2
CH	Arcillas de alta plasticidad	Alto	1
O	Suelos orgánicos	-	

Tabla 12. Asignación de ponderaciones para la variable Amenaza de Deslizamientos

A continuación importar la tabla a Arc Map y crear un campo para colocar las ponderaciones respectivas a través de la selección por atributos y el field calculator.

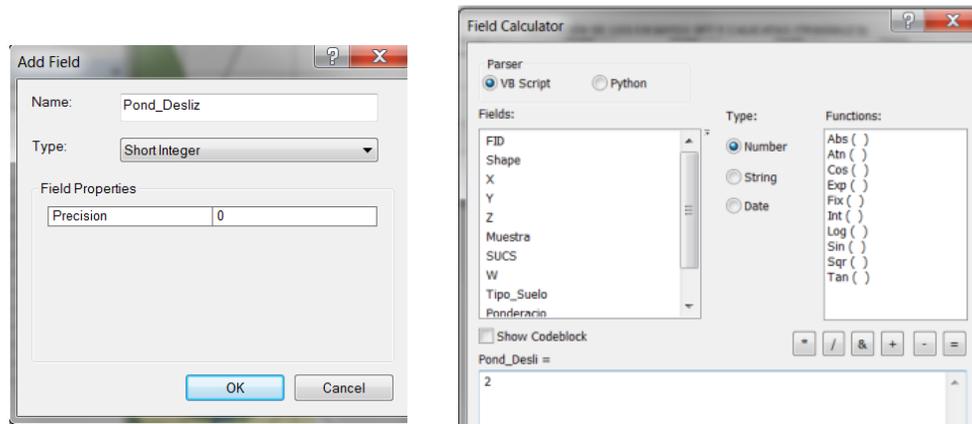


Figura 16. Creación del campo y asignación de las ponderaciones para las variables Amenaza de Subsidiencias de suelo y Amenaza de Deslizamientos.

Interpolación de los valores: Para realizar la interpolación de las dos variables se utilizó la Herramienta de interpolación Natural Neighbor de 3D Analyst , Raster Interpolation.

El siguiente paso es reclasificar los raster, otorgando 6 al valor de más calidad y 1 al de menor calidad.

A continuación se utilizó la herramienta expand con el propósito de expandir la interpolación hacia puntos que no tienen datos y así cubrir toda el área geográfica de estudio.

Finalmente cortar el raster con el polígono del área de estudio, mediante la herramienta extract by mask y obtener el mapa de las respectivas variables. Ver Figura 17.

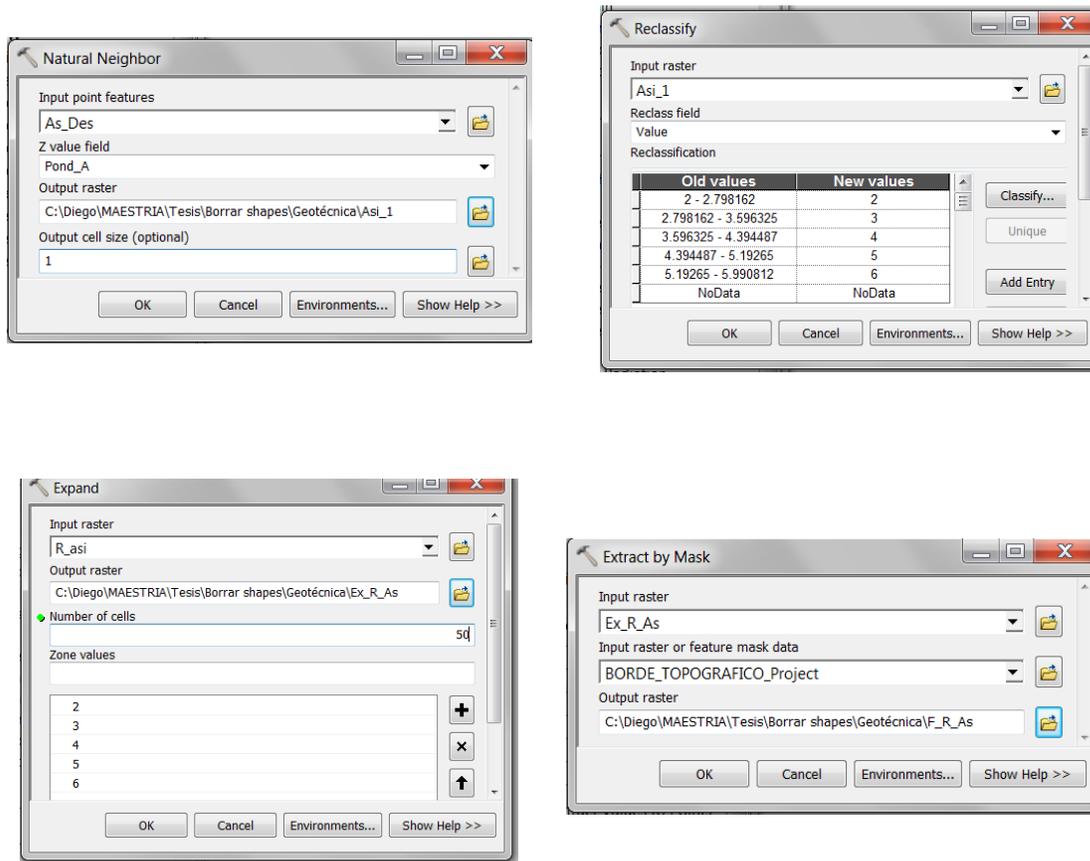


Figura 17. Proceso para obtener los mapas de las Variables Amenaza de Subsidiencias de suelo y Amenaza de Deslizamientos.

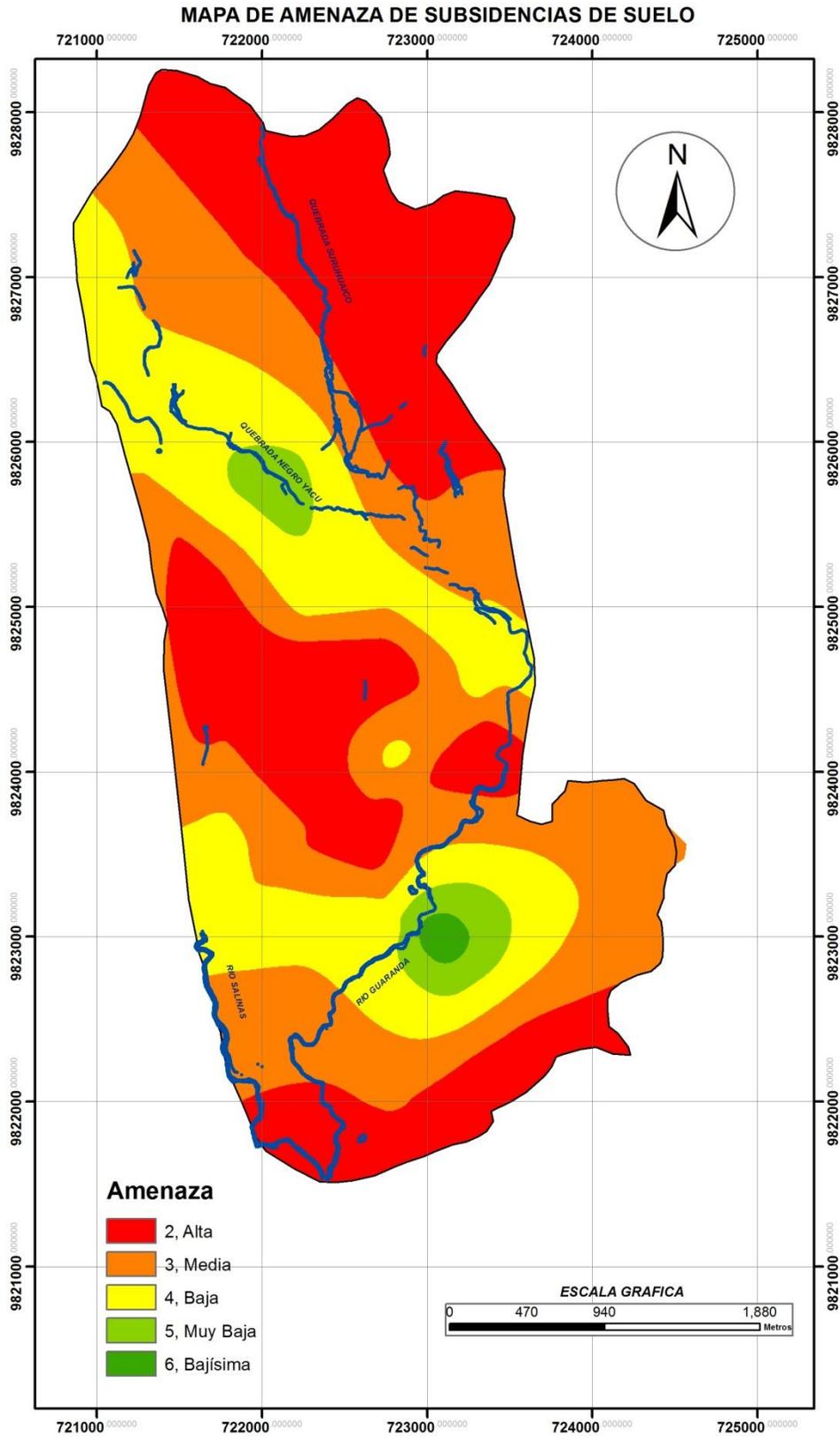


Figura 18. Mapa de Suelos, variable Amenaza de Subsidiencias de suelo

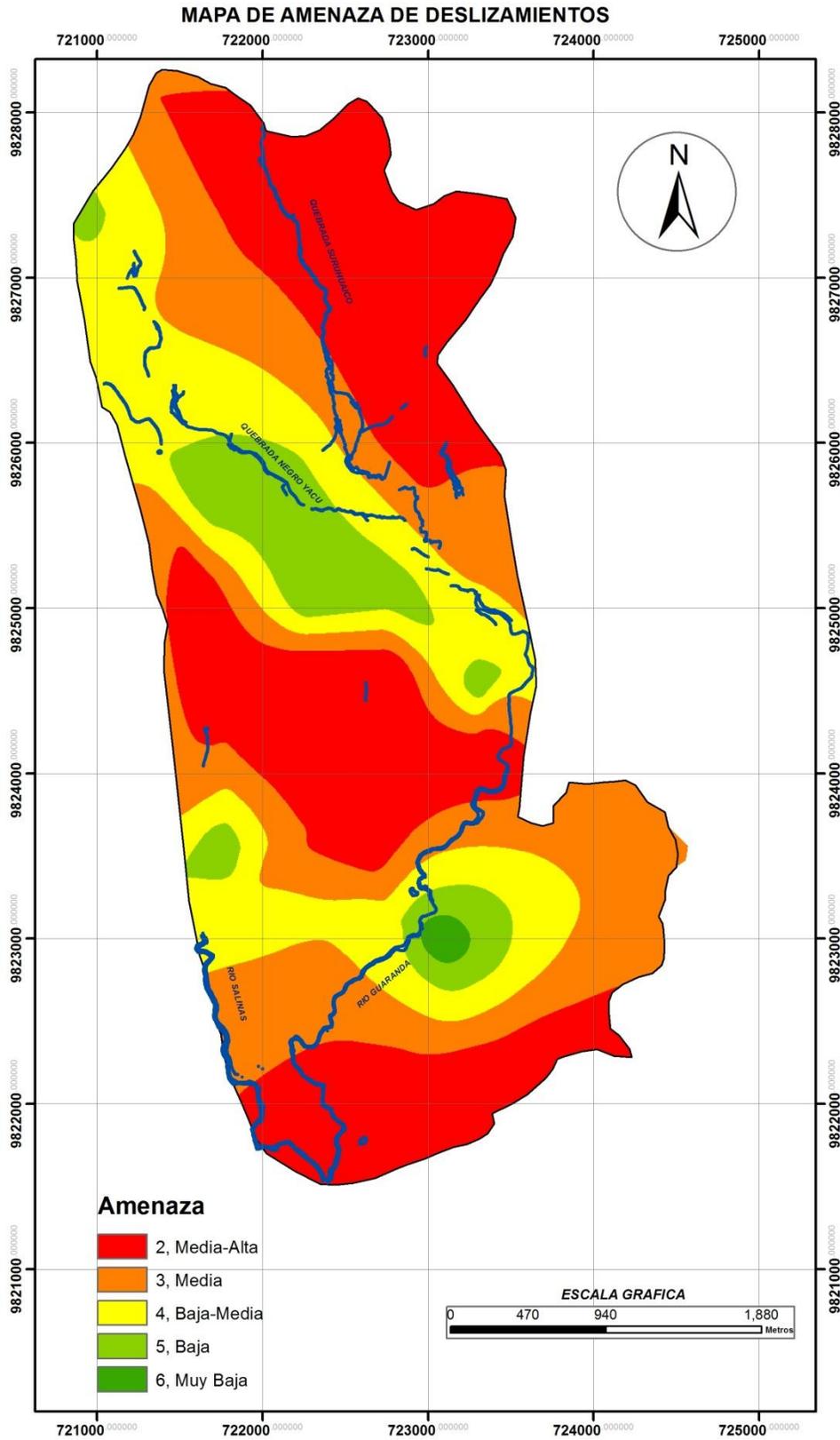


Figura 19. Mapa de Suelos, variable Amenaza de Deslizamientos.

Algebra de mapas entre las Variables Amenaza de Subsidiencias de suelo y Amenaza de Deslizamientos: El mapa resultado de la combinación de estas dos variables, Ver Figura 21. Se realizó a través del raster calculator Ver Figura 20. Utilizando la siguiente fórmula:

$(\text{Amenaza de Subsidiencias de suelo} * 0.40) + (\text{Amenaza de deslizamientos} * 0.60)$

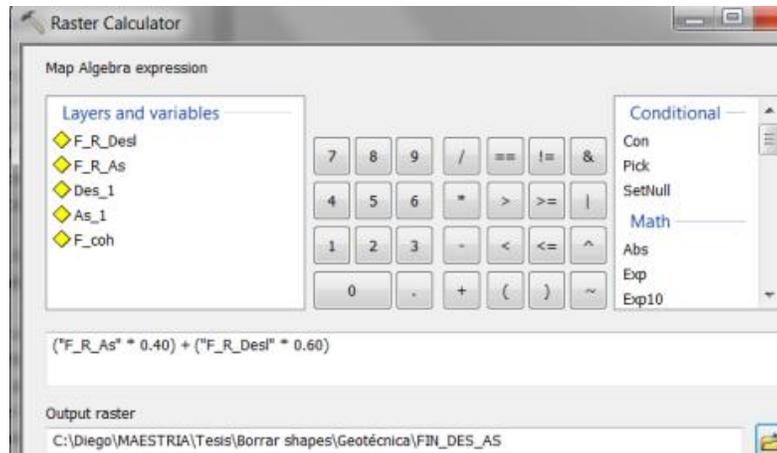


Figura 20. Fórmula para calcular el mapa de Amenaza de subsidencias de suelo y de Deslizamientos.

Con esta ponderación se da más peso a la variable amenaza de deslizamientos ya que estos fenómenos naturales son muy comunes en ciudades montañosas como Guaranda, además este es un fenómeno directo inducido por un sismo.

MAPA DE AMENAZA DE SUBSIDIENCIAS DE SUELO Y AMENAZA DE DESLIZAMIENTOS

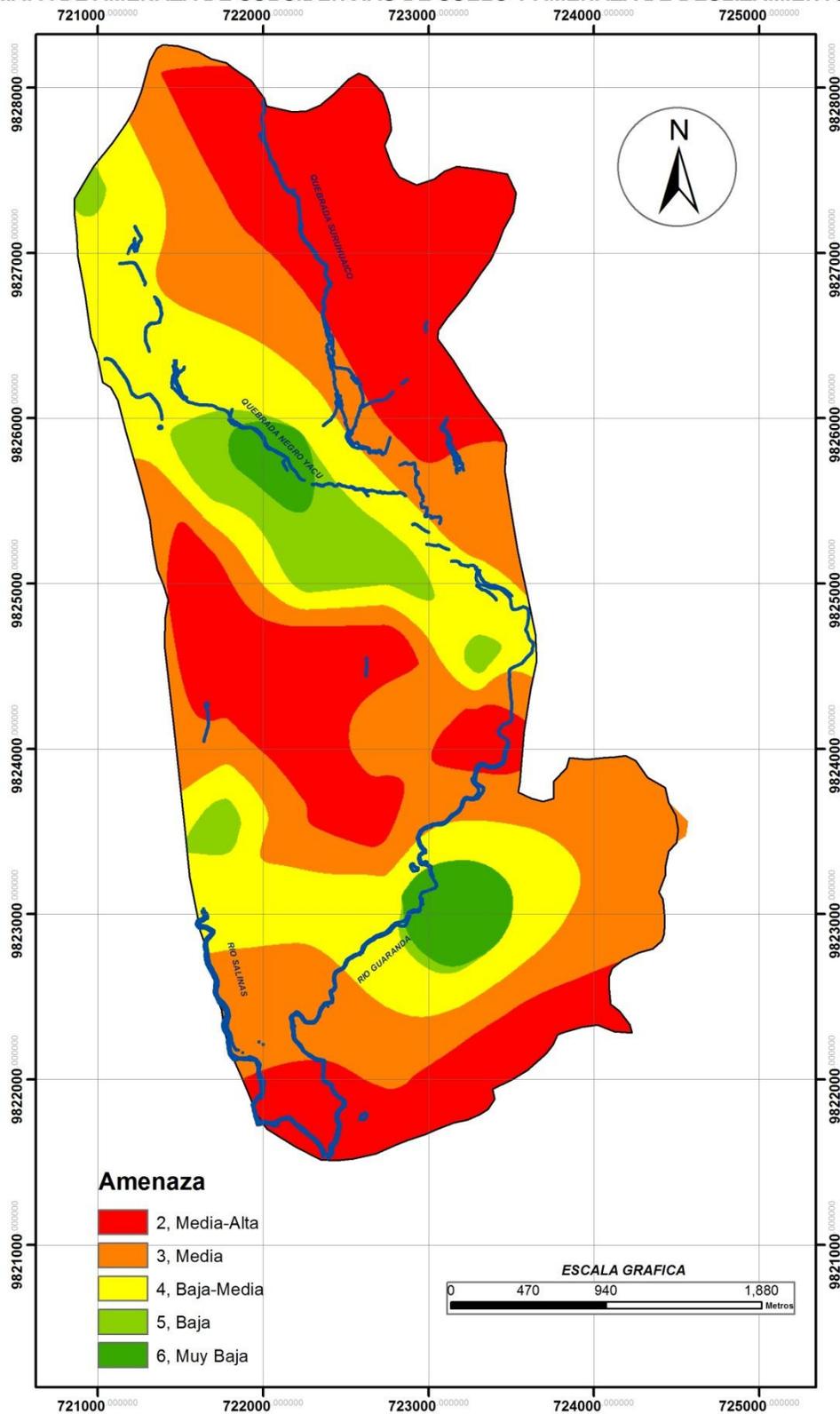


Figura 21. Mapa de Amenaza de Subsidiencias de suelo y amenaza de deslizamientos.

4.3.2.2. Mapa de suelos basado en los valores de Cohesión

Obtención de valores de cohesión a partir de los ensayos SPT: Se tomó el valor directo de cohesión procedente de los ensayos de muestras cúbicas triaxiales (calicatas) y el valor indirecto de cohesión mediante correlaciones con los datos procedentes de los ensayos SPT. Los valores indirectos fueron obtenidos mediante la Tabla 13.

La mayoría de suelos de acuerdo a la clasificación SUCS en la ciudad son de tipo intermedios es decir limo arcilloso a limo arenoso, existen muy pocos suelos compuestos únicamente por arcilla o por arena.

SUELOS COHESIVOS			
Tipo	Golpes (NSPT)	Cohesión Kg/cm ²	Angulo de fricción
Muy Suave	Menos de 2	0,12	0
Suave	2 a 4	0,12 a 0,24	0
Firme	4 a 8	0,24 a 0,49	0
Rígido	8 a 15	0,49 a 0,98	0
Muy Rígido	15 a 30	0,98 a 1,95	0
Duro	Más de 30	1,95	0
SUELOS NO COHESIVOS			
Suelto	Menos de 10	0	28
Medio	10 a 30	0	28 a 32
Denso	Más de 30	0	32
SUELOS INTERMEDIOS			
Suelto	Menos de 10	0,05	8
Medio	10 a 30	0,05 a 0,49	8 a 12
Denso	Más de 30	0,49	12

Tabla 13. Tabla para determinar mediante correlaciones la Fricción y Cohesión de los suelos de acuerdo al Número de Golpes N del SPT y al tipo de suelo.

Fuente: Traducida y Tomada de Karol, 1960.

La Tabla 14, Muestra el valor final de la cohesión que se utilizó para la interpolación.

Sondeo	X	Y	N (SPT)	Tipo de Suelo	Cohesión
GS-01	721802	9828053	11	Limo Arcilloso	0.67
GS-02	721912	9826534	9	Limo Arenoso	0.06
GS-03	721947	9823820	26	Limo Arenoso	0.42
GS-04	721980	9825057	19	Limo Arenoso	0.27
GS-05	723577	9822230	14	Limo Arcilloso	0.96
GS-06	721496	9827634	64	Limo Arenoso	0.49
GS-07	721384	9827081	36	Limo Arenoso	0.49
GS-08	721494	9825975	16	Limo Arenoso	0.22
GS-09	721716	9824758	38	Limo Arcilloso	1.95
GS-10	721938	9824647	30	Limo Arcilloso	1.95
GS-11	722717	9823872	40	Limo Arenoso	0.49
GS-12	722494	9823651	28	Limo Arcilloso	1.82
GS-13	722160	9823430	36	Limo Arcilloso	1.95
GS-14	722160	9823873	21	Limo Arcilloso	1.37
GS-15	721826	9823984	34	Limo Arcilloso	1.95
GS-16	721937	9823209	5	Arena	0.05
GS-17	722270	9822656	6	Arena	0.05
GS-18	723717	9822433	31	Limo Arcilloso	1.95
GS-19	722158	9821329	45	Limo Arenoso	0.49
GC-01-01	722274	9827459		Limo Arenoso	0.99
GC-02-01	721881	9826591		Limo Arenoso	0.51
GC-03-01	721704	9825953		Limo Arcilloso	1.5
GC-04-01	723002	9825004		Limo Arcilloso	2.2
GC-05-01	722801	9824115		Arena	0.03
GC-06-01	722071	9824207		Limo Arcilloso	2.31
GC-07-01	722141	9823457		Limo Arcilloso	2.1
GC-08-01	722559	9823020		Limo Arcilloso	2
GC-09-01	722747	9822067		Limo Arenoso	0.63

Tabla 14. Valores finales de cohesión utilizada para la interpolación.

Interpolación de valores de cohesión: Los valores fueron interpolados a través de la herramienta Natural neighbor, de 3D Analyst Tools. Ver Figura 22.

A continuación se realizó, la reclasificación, tomando en cuenta el criterio que los suelos más cohesivos, son de mayor calidad que los suelos menos cohesivos arenosos. Ver Figura 22.

Seguido a esto, se expandió el mapa mediante la herramienta Expand de Spatial Analyst. Se realizó la expansión ya que al no tener datos en las celdas del borde de la interpolación no se puede realizar el álgebra de mapas en la misma extensión y se pierde información del mapa anterior. Ver Figura 22.

Finalmente se cortó el mapa expandido con un polígono Borde Topográfico mediante la herramienta Extract by Mask de Spatial Analyst. Ver Figura 22.

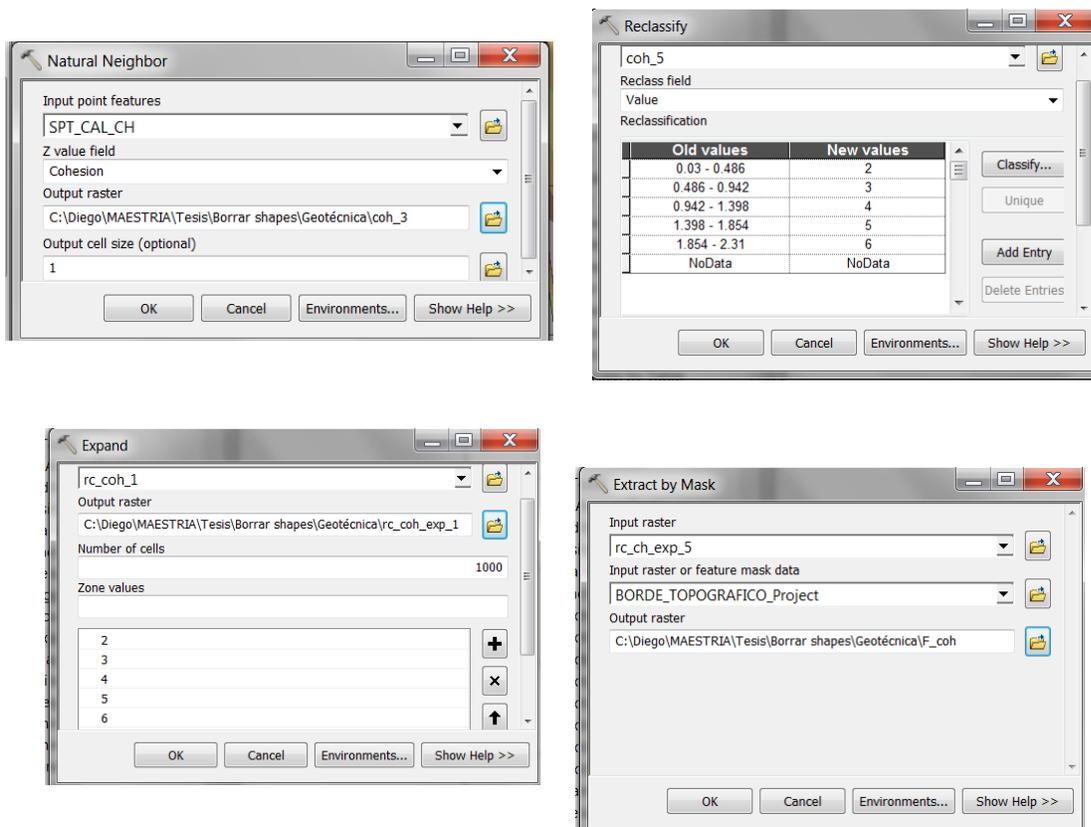


Figura 22. Proceso para obtener los mapas del valor de cohesión.

El Mapa de cohesión se observa en la Figura 23.

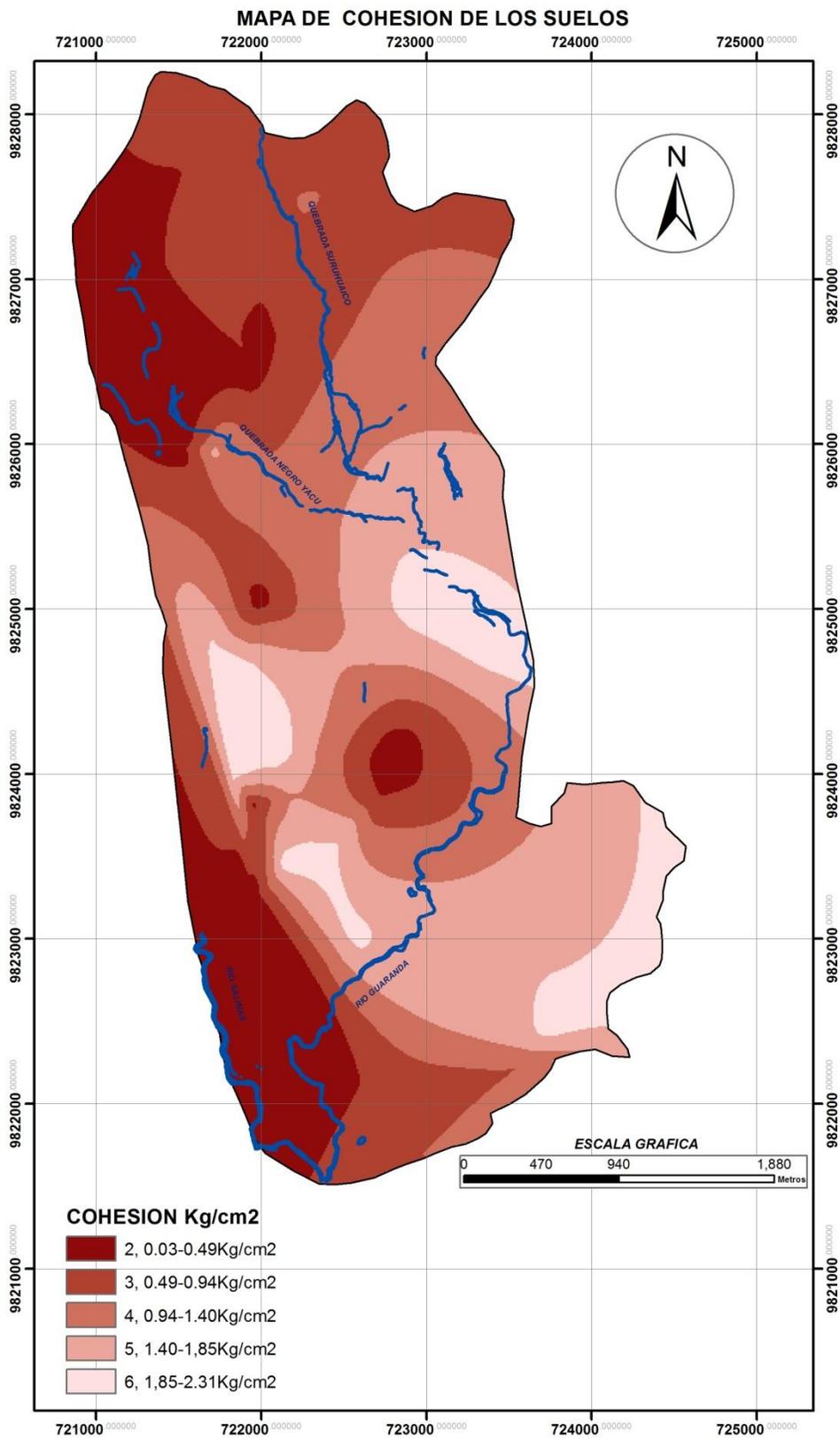


Figura 23. Mapa de Cohesión de suelos.

4.3.2.3. Creación del Mapa Geotécnico de Suelos

El Mapa Geotécnico final de suelos resulta del proceso del álgebra de mapas utilizando los mapas parciales de suelos, combinación amenaza de deslizamientos más amenaza de subsidencias de suelo y el mapa de cohesión, mediante el field calculator, utilizando la siguiente fórmula:

(Amenaza de deslizamientos y de subsidencias de suelo *0.50) + (Cohesión * 0.50)

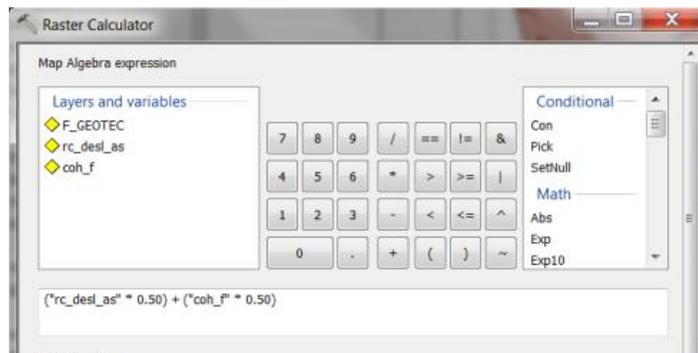


Figura 24. Creación del raster Mapa Geotécnico

El Mapa Geotécnico de suelos se puede observar en la Figura 25

4.3.3. Descripción del Mapa Geotécnico

Los suelos fueron clasificados en 4 grupos, los cuales presentan características geotécnicas diferentes:

Suelo tipo SGT4

Este tipo de suelo presenta características geotécnicas buenas, que aumentan con la compacidad del suelo. Las principales características de este material son las siguientes:

Se trata de limos inorgánicos con alta plasticidad. La clasificación SUCS en su mayoría es SM-SC arenas-limosas. El valor N del SPT en estos suelos está en un promedio de 10, lo cual indica que es un suelo rígido. La cohesión varía entre 1.40 a 2.30 Kg/cm², lo cual indica que es un material rígido. El Riesgo de Subsidencias

de suelo y Deslizamientos es bajo. Todas estas características nos llevan a calificar a este tipo de suelo como de buena calidad al momento de presentarse algún fenómeno sísmico, además se podría recomendar una cimentación directa sobre este tipo de materiales.

Suelo tipo SGT3

Este tipo de suelo es algo similar al tipo SGT4, varían debido a la diferencia en los índices de plasticidad. Estas son las principales características de estos materiales:

Se trata de limos-arcillosos inorgánico de baja plasticidad, derivado de la meteorización de cenizas volcánicas tipo cangahuas. La clasificación SUCS es SM-MH, arenas a arcillas limosas plásticas. El promedio del índice de plasticidad está en el 9%. El valor N del SPT es 6 lo cual indica que es un suelo firme. La cohesión varía entre 0.94 a 1.40 Kg/cm², lo cual indica que es un material rígido. Todas estas características nos llevan a calificar a este tipo de suelo como de calidad aceptable al momento de presentarse algún fenómeno sísmico, además se podría recomendar una cimentación directa sobre este tipo de materiales.

Suelo tipo SGT2

Este tipo de suelo presenta características geotécnicas regulares. Las principales características de este tipo de materiales son:

Se trata de suelos areno-limosos-arcillosos heterogéneos. La clasificación SUCS es en su mayoría ML-CL arcillas-limosas. El promedio del índice de plasticidad está en el 6%. El valor N del SPT 15, lo cual indica que es un suelo firme. La cohesión varía entre 0.05 a 0.49 Kg/cm², lo cual indica que es un material medio-suelto. El riesgo de subsidencias de suelo y deslizamientos en este material es alto. Todas estas características nos llevan a calificar a este tipo de suelo como de calidad aceptable al momento de presentarse algún fenómeno sísmico, además se podría recomendar una cimentación directa sobre este tipo de materiales; sin embargo será necesario tomar en cuenta que cuando este suelo

esté desarrollado sobre topografías abruptas sería un factor penalizante y de mucho cuidado al momento de realizar alguna obra sobre este suelo.

Suelo tipo SGT1

Este tipo de suelo presenta características geotécnicas inferiores a los otros grupos de suelos, geográficamente ocupa menos espacio.

La clasificación SUCS es MH. La humedad está en el promedio de 53%. El valor N del SPT en estos suelos está en un promedio de 7, lo cual indica que es un suelo rígido. La cohesión es $0,03 \text{ Kg/cm}^2$, lo cual que es un material muy blando. Todas estas características nos llevan a calificar a este tipo de suelo de calidad limitada sobre todo por el valor de la cohesión que es muy baja y de alta plasticidad, por lo tanto disminuye sus características geotécnicas, y la cimentación directa sobre este tipo de suelo no sería recomendada, se requeriría estudios más detallados para la construcción de alguna obra sobre este tipo de suelo.

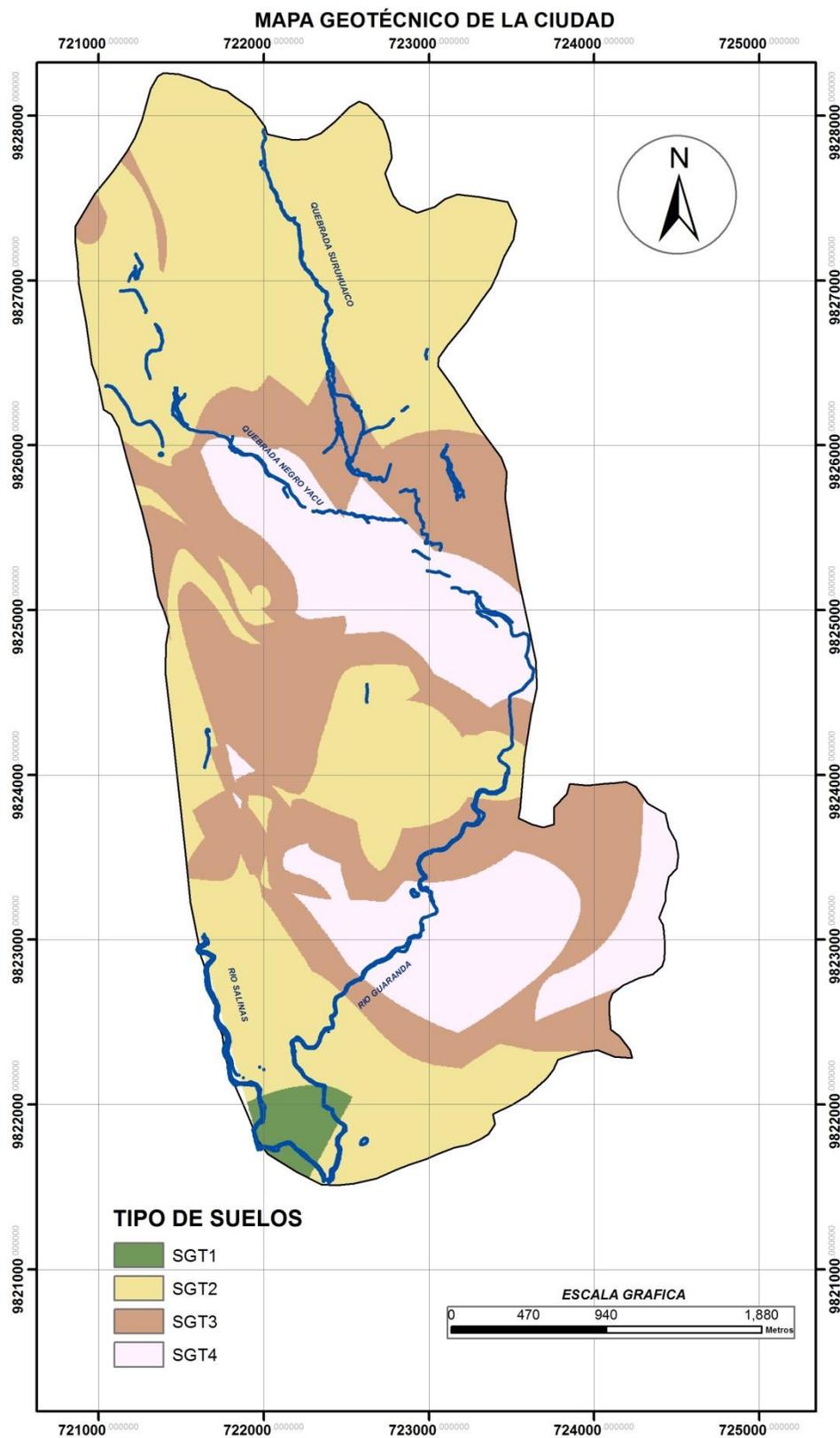


Figura 25. Mapa Geotécnico de suelos de la ciudad.

4.4. MAPA DE ZONIFICACIÓN DINÁMICA DE LA CIUDAD.

4.4.1. Datos Disponibles

Para analizar las características dinámicas del estrato superior de suelo sobre el cual se asienta la ciudad, se utilizó 10 ensayos down hole, aprovechando las 5 perforaciones de suelo realizadas con los SPT. Ver Tabla 15 y Figura 26. El ensayo Down Hole está enfocado fundamentalmente a detectar la velocidad de propagación de las ondas de cizalla.

Sondeo	Coordenadas		Profundidad	Velocidad de
	x	y		Cizalla (m/s)
G001	721802	9828053	4	225.5
			6.5	277.58
G002	721912	9826534	3	104.91
			7	258.62
G003	721947	9823820	3	179.38
			7	262.83
G004	721980	9825057	3	208.43
			7	246.47
G005	723577	9822230	3	132.72
			6	224.83

Tabla 15. Coordenadas de los ensayos Down Hole y valores de las velocidades de corte o cizalla a diferentes profundidades dentro del sondeo SPT.

Fuente: Datos proporcionados por el Municipio de Guaranda (2011).

Por otra parte Paucar Abelardo, 2011, en su proyecto Fin de Master de la Universidad de Alicante: Metodología para la microzonificación sísmica de la ciudad de Guaranda / Ecuador”, recopiló información de 14 sondeos de estudios de mecánica de suelo, SPT. Estos sondeos fueron realizados por el Gobierno Municipal; así como instituciones locales, técnicos y empresas consultoras particulares. Ver Figura 26. En cada sitio de sondeo se dispone de la información de localización geográfica (coordenadas UTM), la profundidad (Z), los golpes SPT (Standard Penetration Test) (N), tipo de suelo,).

A partir de los datos de Paucar Abelardo, 2011, se procedió a determinar las Vs (velocidad de cizalla) en cada sitio de estudio, empleando tres fórmulas distintas que correlacionan directamente el valor N del SPT con las Vs (m/seg), las fórmulas son las siguientes (Cano Sampere, 2008):

$$Vs1 = 91 * N^{0.337} \quad : \quad \text{fórmula de Imai (1977)}$$

$$Vs2 = 85.35 * N^{0.348} \quad : \quad \text{fórmula de Ohta \& Goto (1978)}$$

$$Vs3 = 51.5 * N^{0.516} \quad : \quad \text{fórmula de Iyisan (1996)}$$

La Tabla 16. Muestra los sitios de sondeos, las profundidades y las velocidades de cizalla calculados por las diferentes fórmulas. Datos recopilados por Paucar Abelardo, 2011

SONDEO	Localización		Prof. (z)	Golpe SPT (N)	Velocidad de cizalla Vs (m/s)			
	x	y			Vs1	Vs2	Vs3	Prom.
G006	721496	9827634	-1.0	9	190.8	166.8	160.0	172.5
			-1.5	120	456.8	393.1	609.1	486.3
G007	721384	9827081	-3.0	27	276.3	268.7	282.1	275.7
			-5.5	68	377.2	370.6	454.3	400.7
G008	721494	9825975	-3.0	7	175.3	168.0	140.6	161.3
			-7.0	31	289.5	282.0	302.9	291.5
G009	721716	9824758	-3.0	26	272.8	265.2	276.7	271.6
			-5.0	33	295.7	288.2	312.9	298.9
G010	721938	9824647	-3.0	29	283.1	275.5	292.7	283.7
			-5.0	28	279.7	272.2	287.4	279.8
G011	722717	9823872	-1.5	43	323.2	316.0	358.7	332.6
			-2.0	38	310.0	302.7	336.5	316.4
G012	722494	9823651	-3.0	26	272.8	265.2	276.7	271.6
			-5.0	28	279.7	272.2	287.4	279.8
G013	722160	9823430	-3.0	13	216.0	208.4	193.5	205.9
			-6.0	35	301.6	294.1	322.5	306.1
G014	722160	9823873	-3.0	25	269.2	261.6	271.1	267.3

			-5.0	20	249.7	242.1	241.6	244.5
G015	721826	9823984	-3.0	27	276.3	268.7	282.1	275.7
			-5.0	30	286.3	278.8	297.9	287.6
G016	721937	9823209	-3.0	4	145.2	138.3	105.3	129.6
			-10.0	25	269.2	261.6	271.1	267.3
G017	722270	9822656	-3.0	1	91.0	85.4	51.5	76.0
			-5.5	2	114.9	108.6	73.6	99.1
G018	723717	9822433	-1.0	4	145.2	138.3	105.3	129.6
			-3.0	43	323.2	316.0	358.7	332.6
G019	722158	9821329	-1,00	35	301.6	294.1	322.5	306.1
			-3,00	53	346.8	339.8	399.5	362.1

Tabla 16. Muestra los sondeos SPT, profundidades y valores de la velocidad de cizalla.

Fuente: Datos Recopilados por Paucar Abelardo, 2011, que cita la fuentes: Estudios de mecánica de suelo de: Ing. Lina Rodríguez (consultora particular). Universidad E. Bolívar. Gobierno Municipal de Guaranda. Cuerpo de Bomberos de Guaranda y Empresa consultora DIGECONSA.

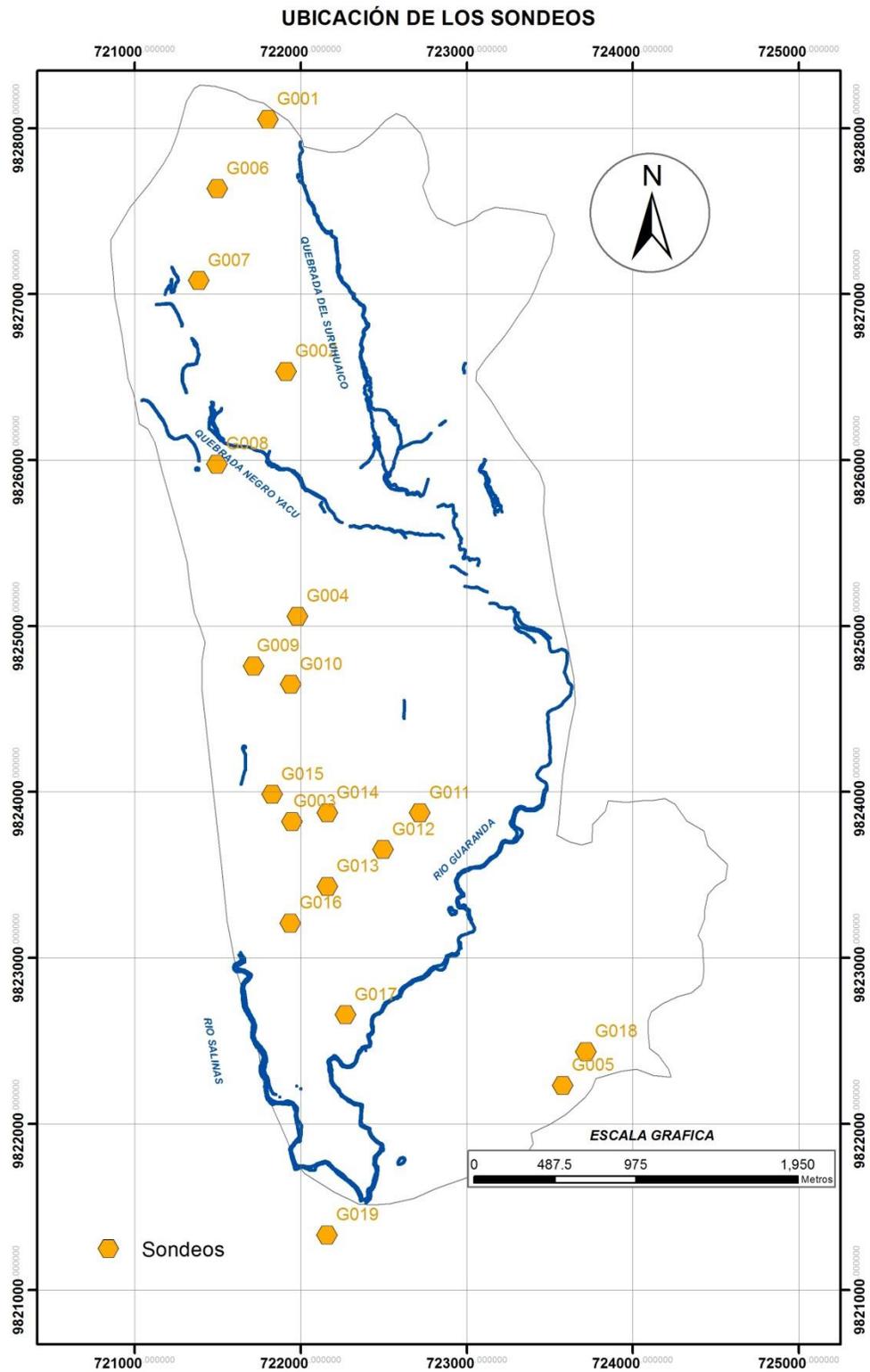


Figura 26. Ubicación de los sondeos para elaborar el mapa de aceleración de ondas.

4.4.2. Procesamiento de los datos

4.4.2.1. Obtención de los valores de aceleración de ondas

El mapa de aceleraciones fue realizado en base del resultado de los ensayos down hole, los cuáles proporcionaron el dato de velocidad de corte o cizalla a una determinada profundidad, para el caso de Guaranda se ha escogido el dato tomado a la profundidad de 3 a 6 metros que es el intervalo a la que se cimentarían la mayoría de futuras construcciones. La velocidad de corte o cizalla es el dato principal que se introduce en el programa gratuito EDUSHAKE. En estos tipos de estudio de microzonificación se usa los programas de modelización como el SHAKE (Mulas de la Peña, 2002). El software proporciona el dato de aceleración de la onda al momento de producirse un determinado sismo.

En el Estudio de Evaluación de la Amenaza Sísmica para la Ciudad de Guaranda, 2007 realizada por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, calculó el dato de aceleración en roca entre 0,22g a 0,28 g, sin embargo en el estudio actual muestra aceleración en suelos que varía entre 0,33 a 0,67, esto se explica debido a que en los suelos la onda se amplifica y por lo tanto los valores de aceleración son más altos, tomando en cuenta además, que para el caso particular de este estudio se utilizó como dato de entrada en el software EDUSHAKE, un sismo modelo de magnitud VII, esta intensidad sería la peor esperada en la zona de estudio, en base al análisis histórico de sismos .

En la Figura 27. En el sitio de sondeo 1, se observa los gráficos resultado del software EDUDHAKE, del cual se puede analizar lo siguiente: En el sitio de sondeo 1, en el gráfico de acelerograma se observa que es modificado en forma notable al atravesar el estrato del suelo, en el gráfico del espectro de respuesta se pone de manifiesto un pico considerable de energía en el período de 0.08 s, el mismo que se sigue manteniendo con subidas y bajadas en los primeros períodos (0.5 s.), esto también es corroborado en el gráfico de evolución de aceleración

pico que tiene una variación significativa en el estrato superficial, que alcanza 0.44 g.

Este análisis se requiere hacer en todos los sondeos, para finalmente tomar el valor de la aceleración de la gravedad en el estrato de suelo más superficial, en el caso del sondeo G001 es 0.44g. Los valores de aceleración de la gravedad para todos los sondeos se muestran en la Tabla 17.

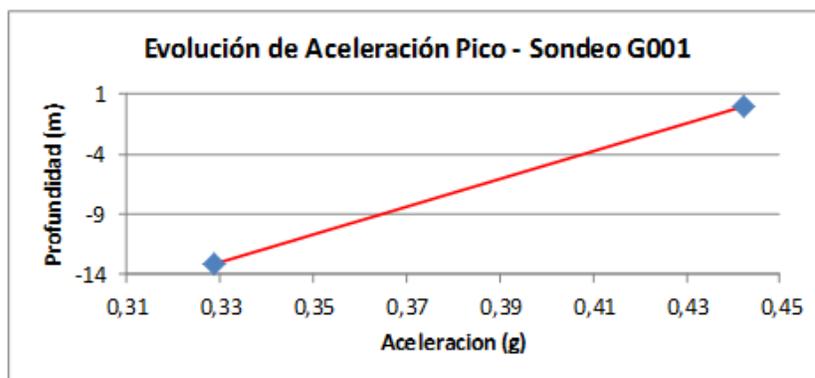
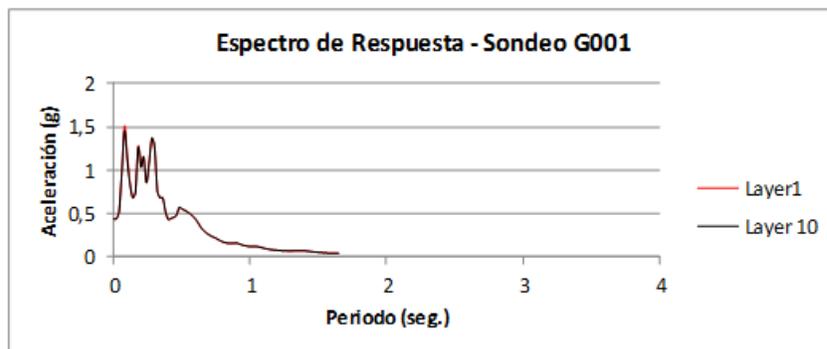
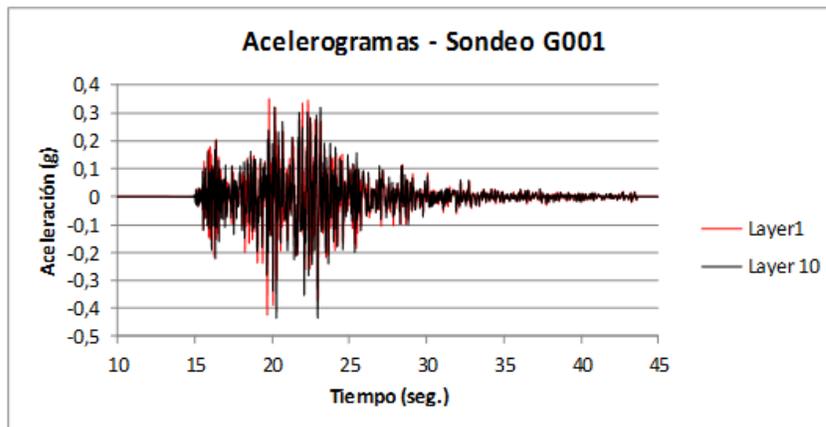


Figura 27. Gráficos, resultados del Software EDUSHAKE, ejemplo sondeo G001

Sondeo	x	y	Aceleración (g)
G001	721802	9828053	0.44
G002	721912	9826534	0.62
G003	721947	9823820	0.58
G004	721980	9825057	0.48
G005	723577	9822230	0.61
G006	721496	9827634	0.34
G007	721384	9827081	0.71
G008	721494	9825975	0.88
G009	721716	9824758	0.58
G010	721938	9824647	0.62
G011	722717	9823872	0.33
G012	722494	9823651	0.63
G013	722160	9823430	0.63
G014	722160	9823873	0.63
G015	721826	9823984	0.69
G016	721937	9823209	0.41
G017	722270	9822656	0.21
G018	723717	9822433	0.34
G019	722158	9821329	0.34

Tabla 17. Valores de gravedad usados para la interpolación del mapa de aceleración de ondas.

Interpolación de la variable aceleración de la gravedad: Una vez subida la tabla a Arc Map, se procedió a interpolar los datos de los valores de aceleración de la gravedad mediante el método Natural neighbor, Ver Figura 28.

El siguiente paso es reclasificar, utilizando el criterio de dar el valor 4 a las zonas con menor aceleración de ondas y 1 a las zonas de mayor aceleración. Ver Figura 28.

A continuación se necesita expandir y extraer el mapa cortando con el borde topográfico que determina la zona de estudio. Ver Figura 28.

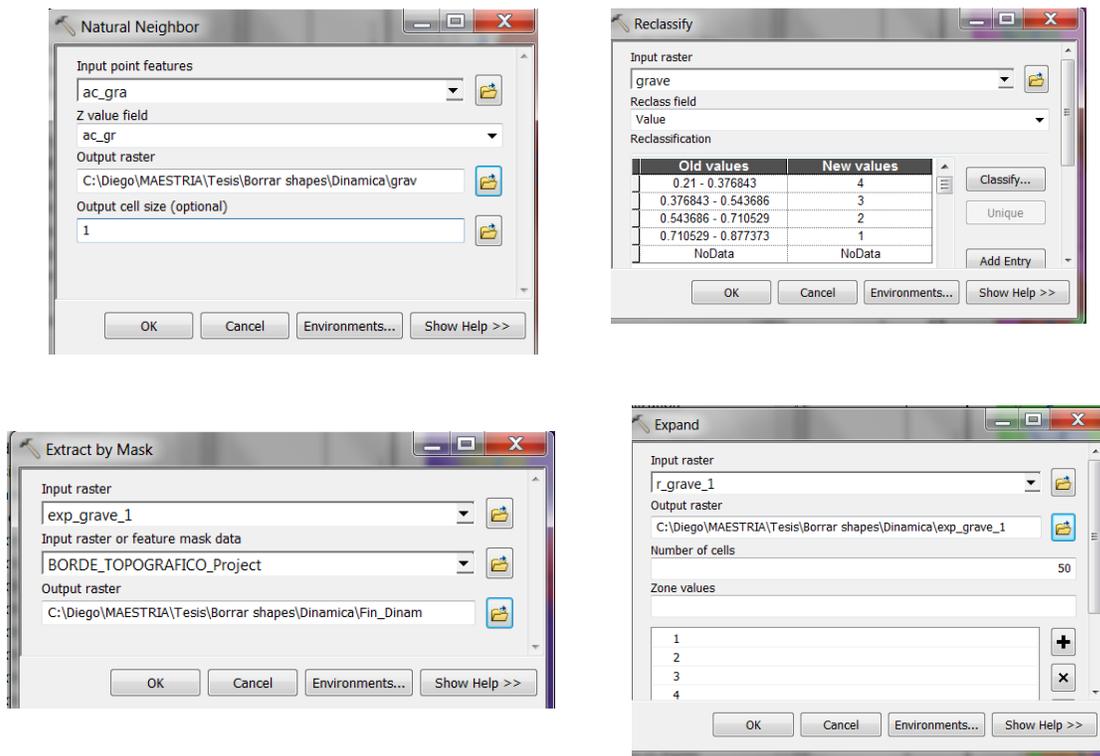


Figura 28. Proceso para obtener el Mapa de Aceleración de ondas.

4.4.3. Descripción del Mapa de Aceleraciones del Estrato Superior

En el mapa de aceleraciones de onda de la zona urbana del Cantón Guaranda, **Ver Figura 29**, se puede observar claramente que existe una relación directa entre la aceleración y la morfología del terreno; es decir en zonas planas la onda acelera menos que en zonas colinadas, esto se debe a que se produce un fenómeno de rebote o interrupción del deslizamiento de la onda por efecto topográfico. Otro aspecto importante a considerar es la relación con el tipo de suelo, es decir si los suelos se presentan más arenosos limpios homogéneos la onda acelera más, pero si el suelo es más heterogéneo es decir limo-arcilloso-arenoso la onda acelera menos.

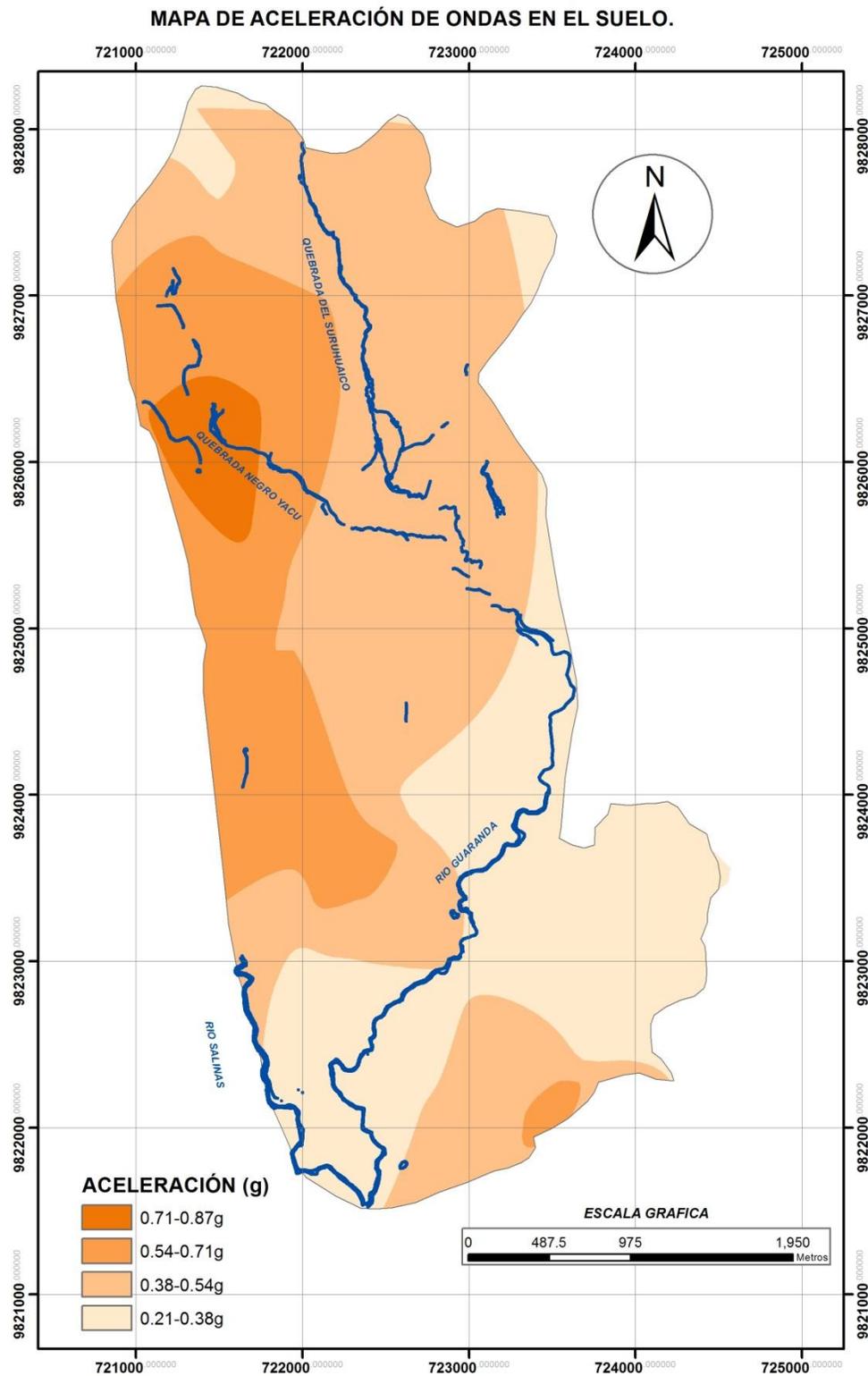


Figura 29. Mapa de Aceleración de ondas del estrato superior.

4.5. MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

4.5.1. Obtención del Mapa de Microzonificación Sísmica

El Mapa de Microzonificación Sísmica capta la información de los Mapas Geológicos, Geomorfológico, Geotécnico y de Aceleraciones de Ondas, mediante la siguiente fórmula:

$$((\text{Mapa Geológico} * 0.20) + (\text{Mapa Geomorfológico} * 0.30) + (\text{Mapa Geotécnico} * 0.30) + (\text{Mapa de aceleración de ondas} * 0.20))$$

Esta fórmula es ingresada al raster calculator. Ver Figura 30.

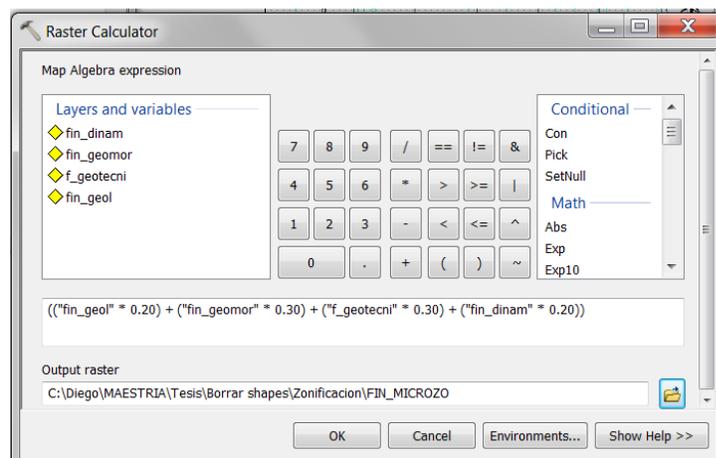


Figura 30. Fórmula para obtener el Mapa de Microzonificación Sísmica.

Se otorgó esta ponderación ya que Guaranda al ser una ciudad de la sierra central de Ecuador, presenta relieves muy abruptos, y cambiantes por lo tanto este factor junto con la geotecnia, son los factores más relevantes dentro de la microzonificación sísmica de la ciudad.

4.5.2. Descripción del Mapa de Microzonificación Sísmica de la ciudad

El Mapa de Microzonificación Sísmica de la ciudad se muestra en el Anexo 1.

Las características geológicas, geomorfológicas, geotécnicas y dinámicas de los mapas anteriores condujeron a zonificar sísmicamente a la Zona Urbana de la ciudad de Guaranda, en 4 zonas con características diferentes. Estas 4 zonas están calificadas de acuerdo al grados de vulnerabilidad que presentarían ante un fenómeno sísmico; es decir la Zona 4 se presentará más vulnerable ante un fenómeno sísmico que la Zona 1. Estas zonas son las siguientes:

Zona 1. Suelos Limosos de alta plasticidad de consistencia rígida, aceleraciones de onda en superficie entre 0.38 Y 0.54 g. La mayoría de estos suelos se desarrollan en zonas de morfología plana tipo mesetas. Los suelos de estas zonas son las más aptos para desarrollar infraestructuras. Los suelos de cimentación presentan excelentes características geotécnicas, pudiéndoles asignar una capacidad portante superior a 10 Kg/cm².

Zona 2. Suelos limosos de alta plasticidad de consistencia rígida y aceleraciones de onda en superficie entre 0.54 y 0.71 g. La mayoría de estos suelos se desarrollan en las zonas relativamente de mesetas-lomas. Estos suelos se presentan algo más susceptibles a los de la Zona 1, pero son aceptables para el desarrollo urbano, sin embargo se requieren de mayor atención, sobre todo en zonas donde aumente la pendiente. Además la aceleración de la onda aumenta. Las características geotécnicas de esta zona son buenas, presentando valores de capacidad portante entre 2.0 y 3.5 Kg/cm².

Zona 3. Suelos limo- arcillosos de baja plasticidad de consistencia rígida y aceleraciones de onda en superficie entre 0,54 y 0,71g. Los suelos de esta zona se presentan más susceptibles a los anteriores, se diferencian de los de la zona 4 y 3 por el tipo de suelo, los de esta zona son más arcillosos y aumenta la cohesión. Estos suelos se desarrollan especialmente en zonas de lomas-colinas. Este tipo de suelo son aceptables para el desarrollo urbano, el factor penalizante es la pendiente. Por tanto hay que considerar este aspecto antes del desarrollo de alguna obra. Los suelos de esta zona presentan características geotécnicas bastante erráticas, encontrándose valores de capacidad portante entre 1.0 y 2.5 Kg/cm².

Zona 4. Suelos areno-limo-arcillosos de consistencia rígida a muy rígida y aceleraciones de onda en superficie > 0.71 g. Este tipo de suelo está desarrollado en áreas con morfologías abruptas tipo colinas y escarpes, por tanto la topografía es el principal factor que penaliza este tipo de suelo. En esta zona se podrían presentar incluso deslizamientos como fenómenos inducidos por sismos, por lo tanto si se requiere realizar obras sobre este tipo de suelo, el principal factor a evaluar es la ubicación geográfica, es decir si el predio se encuentra en zonas de laderas, escarpes, bajo o cerca de una fuerte pendiente. Otro factor que penaliza este suelo es la alta aceleración de onda, por lo tanto reaccionaría desfavorablemente ante un sismo. Como recomendación para construir alguna obra en esta zona, se requeriría hacer un estudio previo de suelos. Esta zona presenta condiciones geotécnicas desfavorables, encontrándose valores de capacidad portante de 0.50 Kg/cm^2 .

4.6. EVALUACIÓN BÁSICA DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LAS CONSTRUCCIONES ANTE UN SISMO

El mapa de evaluación física de las construcciones en la ciudad de Guaranda, se fundamentó en un estudio de campo básico, la recolección de estos datos fue realizada por los estudiantes de la Universidad Estatal de Bolívar, Escuela de Gestión del Riesgo, 2011, donde se registraron alrededor de 4500 predios dentro de la ciudad, basados en el Catastro Municipal de la ciudad, predio por predio, en formato digital.

La metodología integral para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones desarrollada por el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI, Cuba) aborda de forma completa todos los aspectos que influyen en los diferentes tipos de vulnerabilidad sísmica, esta metodología evalúa la vulnerabilidad en tres niveles de estudio, en dependencia del objetivo, la cantidad de construcciones a evaluar, la información existente, el tiempo, estos niveles son:

- Nivel 1 Evaluación general de la vulnerabilidad física sísmica
- Nivel 2 Evaluación intermedia de la vulnerabilidad sísmica.
- Nivel 3 Evaluación detallada de la vulnerabilidad sísmica.

En el caso de Guaranda estaríamos enmarcados hacia una evaluación física de las construcciones a nivel básico por la cantidad de indicadores y variables, además empírica ya que en Ecuador, no se cuenta con funciones de vulnerabilidad o matrices de daño para edificaciones tipo, en vez de utilizar las desarrolladas en otros países, se decidió realizar un análisis de la vulnerabilidad física, basado en indicadores como el tipo, material de construcción y condición de mantenimiento. Es conveniente indicar que esta valoración es específica para esta ciudad y de este estudio en particular, pero podría ser aplicable para otras ciudades.

Para efectos de realizar el análisis, se consideró inicialmente que las edificaciones tipo de la ciudad de Guaranda, presentan una vulnerabilidad física, ante sismos, los valores cuantitativos que fueron asignados para las variables se muestran en la Tabla 18.

EVALUACIÓN BÁSICA DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LAS EDIFICACIONES					
TIPO CONSTRUCTIVO	VIVIENDA	1	CONDICIÓN DE MANTENIMIENTO	BUENA	1
	EDIFICIO	2		REGULAR	2
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	CONCRETO	1		MALA	3
	MIXTA	2			
	ADOBE	3			

Tabla 18. Calificación de variables para la evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones en la Ciudad de Guaranda.

En la Figura 31, se presentan fotografías donde se observan los diferentes tipos constructivos, materiales y condiciones de mantenimiento de las edificaciones en la ciudad y ejemplos de la calificación otorgada.



Figura 31. Edificaciones tipo identificadas en la Ciudad de Guaranda.

A. Vivienda (1) de concreto (1) de condición mantenimiento regular (2) B. Vivienda (1) mixta (2) de condición de mantenimiento regular (2), C. Vivienda (1) de concreto (1) de condición de mantenimiento buena (1), D. Vivienda (1) de adobe (3) de condición de mantenimiento regular (2). Las calificaciones fueron hechas de acuerdo a la Tabla 18.

Para obtener el grado de vulnerabilidad de las edificaciones, se prepararon y analizaron los mapas temáticos relacionados a los indicadores de vulnerabilidad

tipo constructivo, material de construcción y condición de mantenimiento. A continuación los indicadores fueron relacionados entre sí utilizando matrices de ponderación basadas en el criterio del autor.

4.6.1. Mapa del indicador Tipo Constructivo

El mapa del indicador tipo constructivo, muestra que la mayoría de las construcciones en la ciudad son de tipo vivienda, alrededor del 90%, esto se debe a que Guaranda es una ciudad pequeña del Ecuador que todavía está en vías de desarrollo. Ver Figura 32. Si la evaluación de la vulnerabilidad dependiera únicamente del tipo constructivo, no habría mucha diferenciación, por lo tanto este indicador no aporta mucha información para la evaluación.

4.6.2. Mapa del Indicador Material de Construcción

En el mapa del indicador Material de construcción se muestra que el 49% de las construcciones son de concreto, 36% mixta y 15% de adobe. Guaranda es una ciudad muy antigua de Ecuador y el adobe es muy utilizado para la construcción especialmente en las ciudades de la sierra de Ecuador. Especialmente se observa este tipo de construcción más vulnerable, en el centro de la ciudad y en Guanujo la parroquia rural más grande de Guaranda, Este indicador es muy variado y muestra tendencias en el mapa, por lo tanto es importante en la evaluación de vulnerabilidad. Ver Figura 33.

4.6.3. Mapa del Indicador Condición de Mantenimiento

En el mapa del indicador Condición de mantenimiento se evidencia que el 60% de las construcciones tienen un mantenimiento bueno, el 33% regular y solo el 7% malo. La calificación de mala se observa sobre todo en las zonas rurales de la ciudad, mientras tanto en la zona urbana la condición de mantenimiento de las edificaciones es bueno a regular, por lo tanto menos vulnerables. En general este indicador muestra tendencias geográficas en el mapa, pero en realidad la calificación buena-regular es muy subjetiva, por lo tanto aporta medianamente a nuestra evaluación. Ver Figura 34.

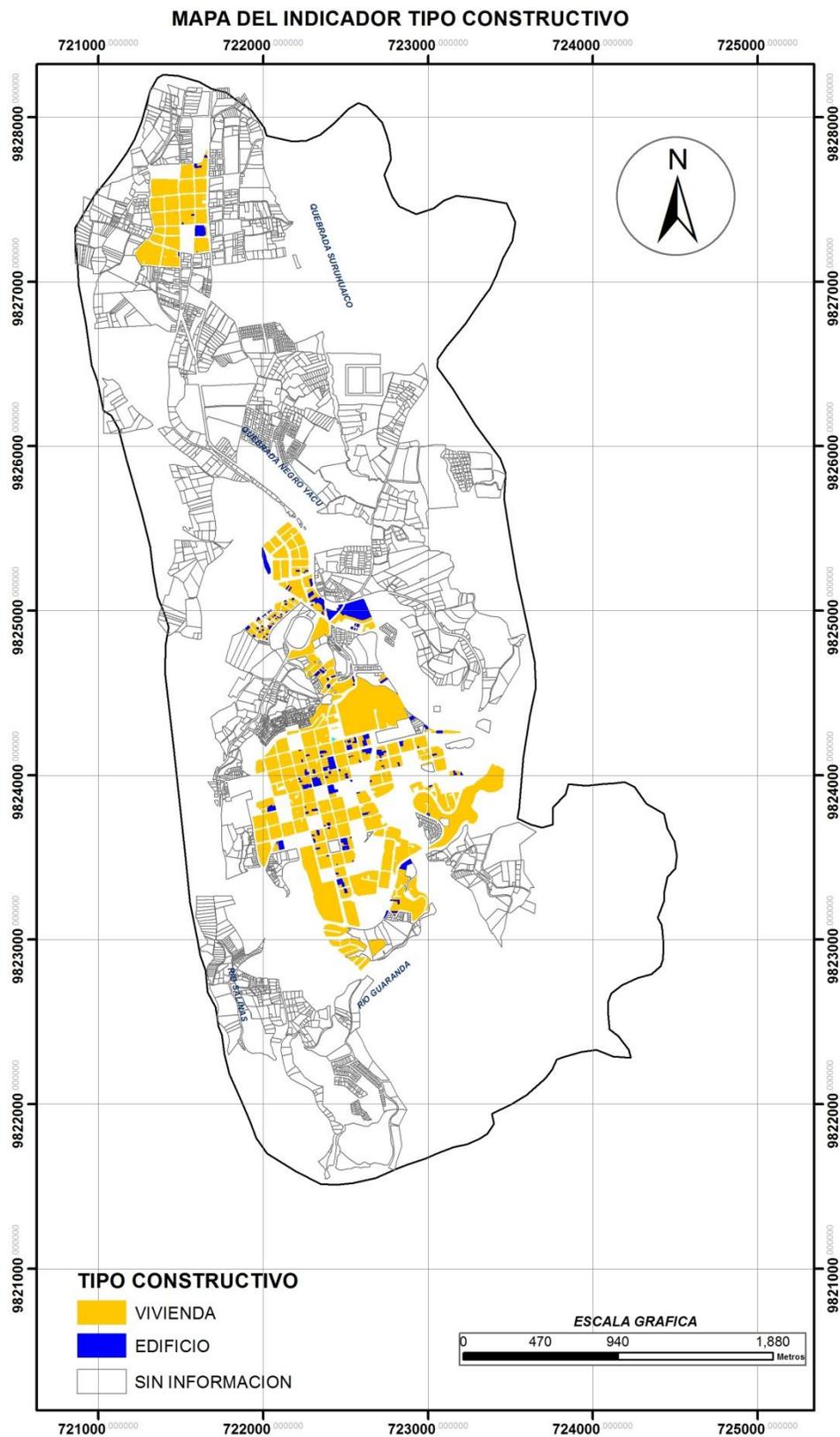


Figura 32. Mapa del Indicador tipo Constructivo

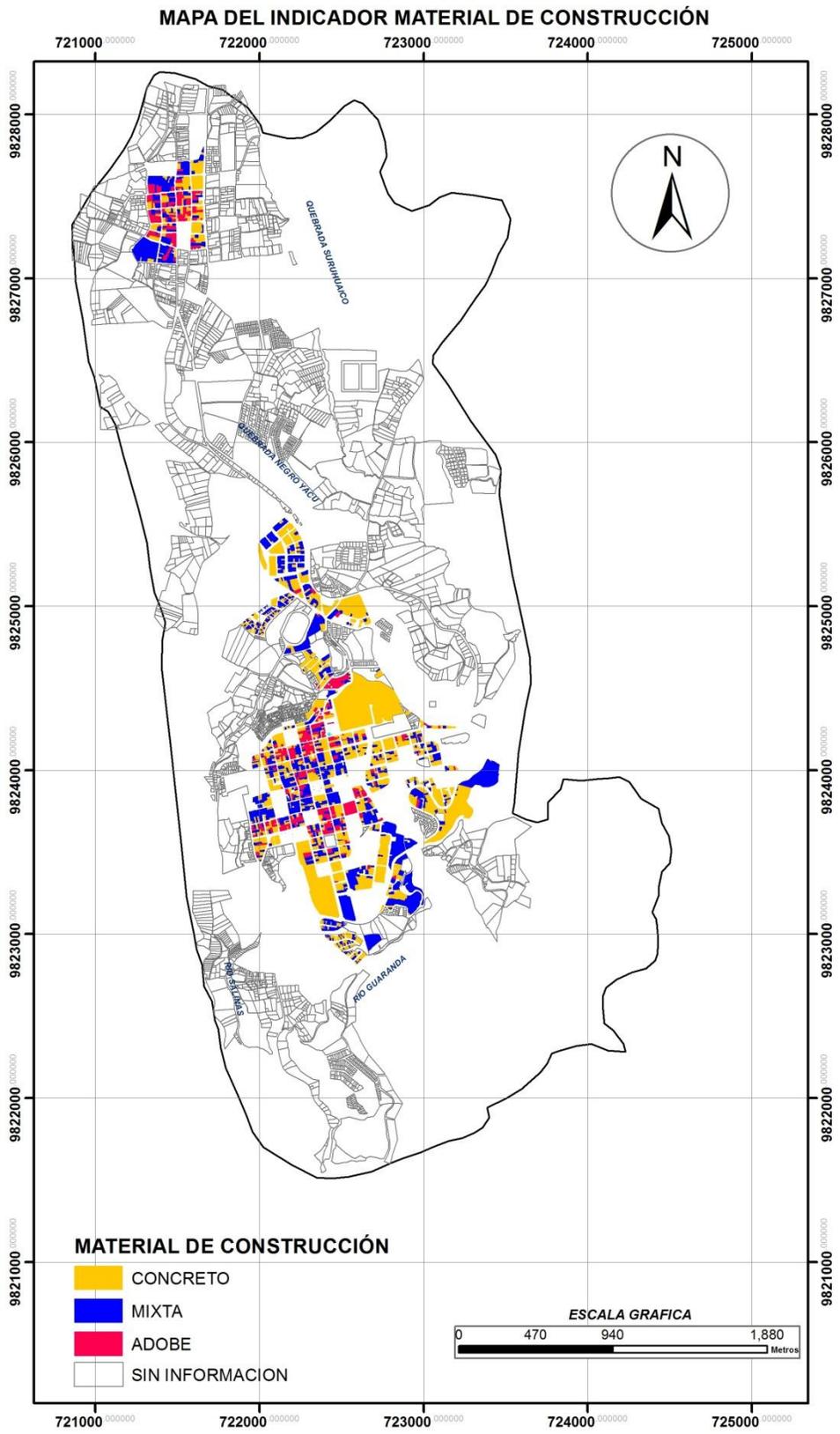


Figura 33. Mapa del Indicador Material de Construcción.

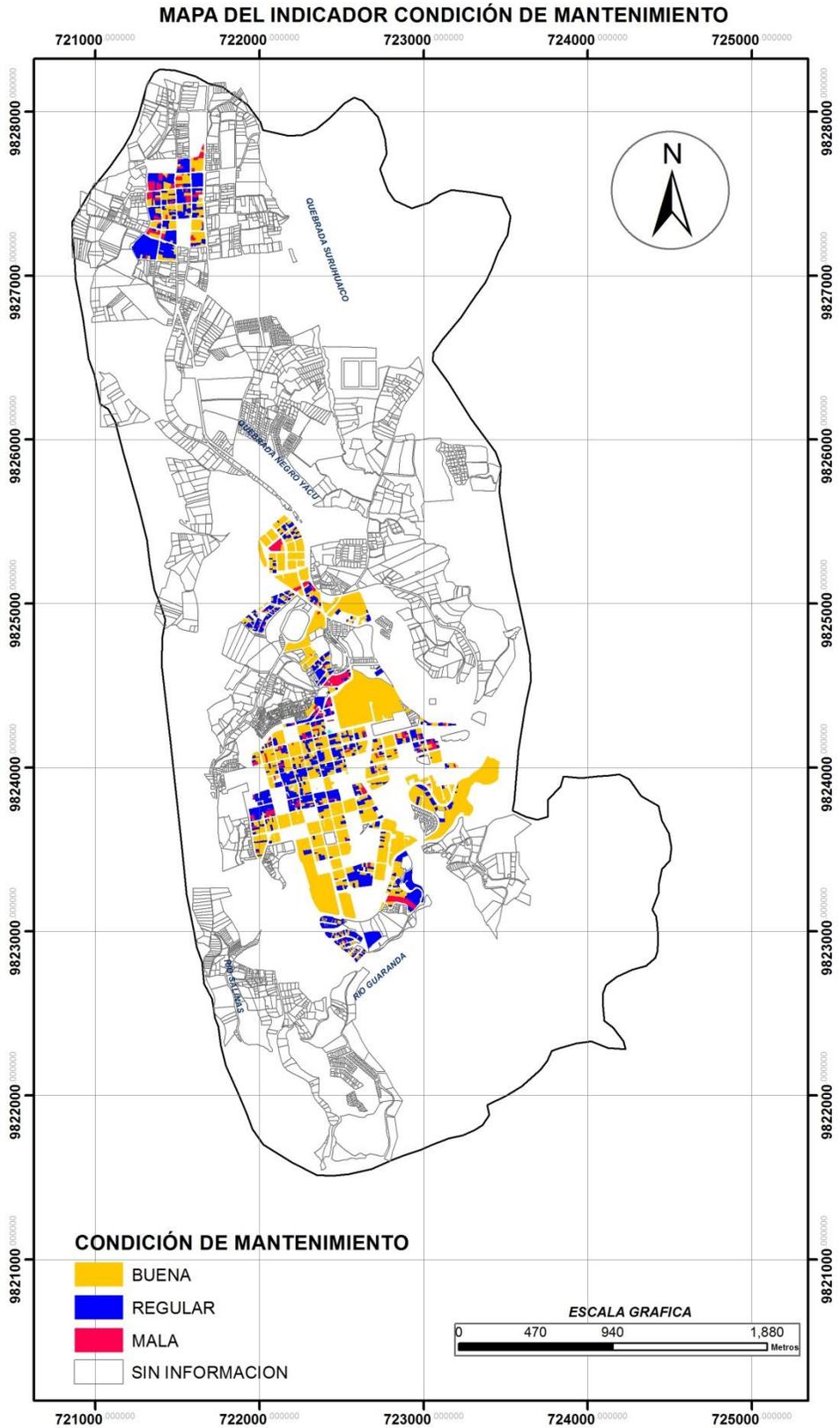


Figura 34. Mapa del Indicador Condición de Mantenimiento.

4.6.4. Mapa de Vulnerabilidad Física de las Edificaciones

4.6.4.1. Normalización y Ponderación de los Indicadores y Variables

Para realizar la estimación de vulnerabilidad final procedemos a definir la matriz de ponderación normalizada de las variables de sus respectivos indicadores. Ver Tabla 19. Mediante esta matriz asumimos que los valores ponderados son comparables.

INDICADOR	VARIABLE	PONDERACIONES	PONDERACIONES NORMALIZADAS
Tipo Constructivo	Vivienda	1	0.33
	Edificio	2	0.67
	Total	3	1
Material de Construcción	Concreto	1	0.17
	Mixto	2	0.33
	Adobe	3	0.5
	Total	6	1
Condición de Mantenimiento	Buena	1	0.17
	Regular	2	0.33
	Mala	3	0.5
	Total	6	1

Tabla 19. Matriz de ponderaciones normalizadas de las variables

A continuación se necesita una asignación numérica a los indicadores. En el análisis individual de los indicadores de vulnerabilidad se observó que los más representativos para esta evaluación son el material de construcción y condición de mantenimiento, finalmente el menos representativo es el tipo constructivo. La Tabla 20. Muestra la ponderación de los indicadores.

INDICADOR	PONDERACIONES	PONDERACIONES NORMALIZADAS
Material de Construcción	4	0.4
Condición de Mantenimiento	4	0.4
Tipo Constructivo	2	0.2
Total	10	1

Tabla 20. Matriz de ponderaciones normalizadas de los indicadores.

Finalmente, se requiere multiplicar las ponderaciones normalizadas de cada variable por las ponderaciones normalizadas de cada indicador. Ver Tabla 21.

INDICADOR	VARIABLE	POND.	POND.NORM. (VARIABLES)	POND.NORM (INDICADORES)	POND. TOTAL
Tipo Constructivo	Vivienda	1	0.33	0.2	0.07
	Edificio	2	0.67		0.13
	Total	3	1		0.2
Material de Construcción	Concreto	1	0.17	0.4	0.07
	Mixto	2	0.33		0.13
	Adobe	3	0.5		0.20
	Total	6	1		0.4
Condición de Mantenimiento	Buena	1	0.17	0.4	0.07
	Regular	2	0.33		0.13
	Mala	3	0.5		0.20
	Total	6	1		0.4

Tabla 21. Multiplicación de las ponderaciones normalizadas de las variables e indicadores.

4.6.4.2. Procesamiento de los Datos

A partir de los valores de ponderación total, se tiene que asignar estos datos a las diferentes variables. Esto se realiza a través del Field Calculator, creando primero los campos en la tabla y realizando queries para seleccionar las respectivas variables. Ver Figura 36.

Finalmente se debe crear un campo final de ponderaciones y por medio del field calculator se procede a sumar los campos de las ponderaciones parciales. Ver Figura 36. Únicamente para un mejor entendimiento del grado de vulnerabilidad se añadió un campo con la ponderación en porcentaje.

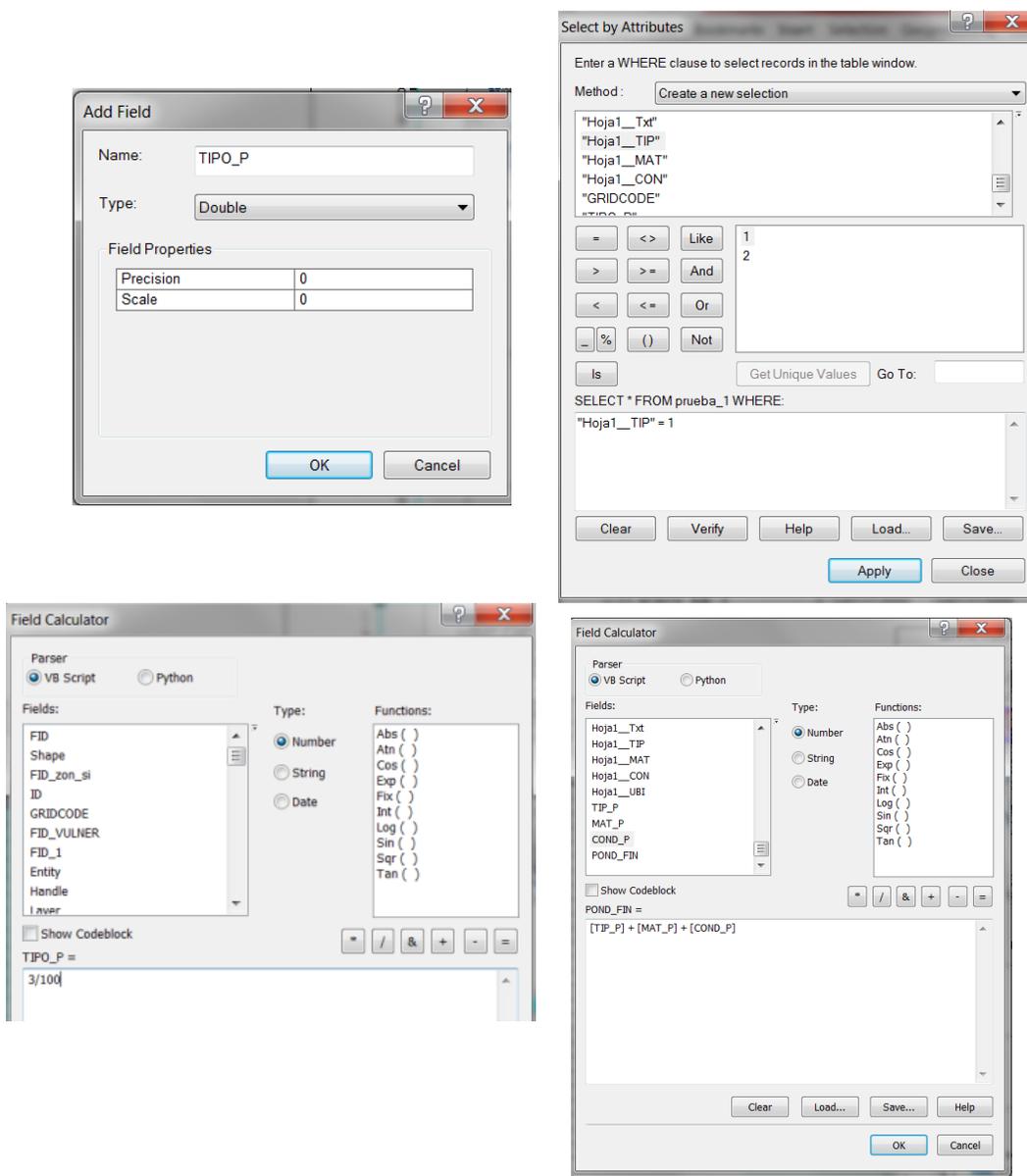


Figura 35. Proceso para obtener el mapa de Evaluación de Vulnerabilidad Básica de las Edificaciones.

4.6.4.3. Descripción del Mapa de Vulnerabilidad Física de las Edificaciones

Una vez determinados los valores de ponderación, según el criterio del autor, se definió el grado de vulnerabilidad. Ver Tabla 22. El producto final, es el mapa de evaluación de la vulnerabilidad básica de las edificaciones. Ver Anexo 2.

GRADO DE VULNERABILIDAD	PORCENTAJE
Baja	21-29
Moderada	30-37
Media	38-45
Alta	46-53

Tabla 22. Calificación del grado de vulnerabilidad de las edificaciones de la ciudad de Guaranda.

Finalmente, la Tabla 23, resume el número de viviendas y el porcentaje de acuerdo al respectivo grado de vulnerabilidad. Es importante indicar, que debido a la representación de estos mapas manzana por manzana, en algunos casos se puede generar una falsa indicación de grandes áreas vulnerables, cuando realmente lo que se encuentra es la presencia de pequeñas y únicas construcciones ubicadas en manzanas.

GRADO DE VULNERABILIDAD	NUMERO DE VIVIENDAS	PORCENTAJE
Baja	2940	65
Moderada	975	22
Media	434	10
Alta	138	3
Total	4487	100

Tabla 23. Grado de vulnerabilidad y número de viviendas de la ciudad de Guaranda.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La optimización de los SIG por medio del diseño de un diagrama lógico y la aplicación de un modelo cartográfico, empírico, enfocado desde el punto de vista geológico, permitió una correcta recopilación, procesamiento e interpretación de la información alfanumérica y cartográfica para el desarrollo del mapa de Microzonificación Sísmica.
- La metodología de investigación de este estudio fue de tipo mixto, método híbrido, (Neuman, 2005), ya que se realizaron análisis basados en publicaciones científicas y además se utilizaron criterios lógicos asumidos por el autor, representados en el diseño lógico del proyecto, las entidades y atributos fueron establecidos de acuerdo a la información disponible.
- Este proyecto de tesis se diferencia del resto de estudios de microzonificación y vulnerabilidad, por el diseño lógico, que permite tener una idea clara de la organización del proyecto y proporciona un medio gráfico e intuitivo para explorar la estructura del conjunto de datos.
- El Mapa de Microzonificación Sísmica y de Evaluación física de la vulnerabilidad de las edificaciones, deben ser utilizados como base para un futuro estudio de estimación de riesgo en la Ciudad de Guaranda.
- En el Mapa de Microzonificación Sísmica se dividieron 4 microzonas en la ciudad, con diferentes características geológicas-dinámicas. Estas 4 zonas están calificadas de acuerdo al comportamiento que presentarían ante un fenómeno sísmico. En todas las zonas se deben hacer estudios de suelo específicos para cada predio, ya que de acuerdo al tipo de suelo, y al número de pisos se diseña la cimentación.

- En la Zona 1, los suelos de cimentación presentan excelentes características geotécnicas, pudiéndoles asignar una capacidad portante superior a 10 Kg/cm². En la Zona 2, las características geotécnicas son buenas, presentando valores de capacidad portante entre 2.0 y 3.5 Kg/cm². Los suelos de la Zona 3, presentan características geotécnicas bastante erráticas, encontrándose valores de capacidad portante entre 1.0 y 2.5 Kg/cm². La Zona 4, presenta suelos con condiciones geotécnicas desfavorables, encontrándose valores de capacidad portante de 0.50 Kg/cm².
- La Zona 3 es la de mayor representatividad en el mapa de microzonificación sísmica, seguida de la zona 1 y 2, finalmente la zona 4 es la que ocupa menor área en el mapa. El centro de la ciudad, donde se existe la mayor cantidad de viviendas, entidades municipales, hospitales, etc., está ubicado en su mayoría sobre suelos de las zonas 3 y 4, lo que hace pensar que el futuro crecimiento de la ciudad debería ser hacia las zonas 1 y 2.
- Las entidades Geomorfología y Geotecnia son las más relevantes en este estudio, ya que existe relación directa de la topografía con las propiedades geotécnicas y dinámicas de los suelos. Es decir en zonas con mayor pendiente las características geotécnicas de los suelos se reducen, además la onda acelera más y viceversa.
- Debido al origen volcánico de los suelos en la ciudad de Guaranda, se presenta una geología muy variable, formada por aluviales, flujos de lodo, depósitos piroclásticos, las cuales reflejan características geotécnicas y dinámicas muy variadas.
- El grado de vulnerabilidad de las edificaciones fue dividida en 4 categorías: baja (65%), moderada (22%), media (10%) y alta (3%), siendo baja y

moderada las de mayor representatividad en el mapa de vulnerabilidad física de las edificaciones.

- Las edificaciones del centro de la ciudad de Guaranda, presentan en su mayoría vulnerabilidad moderada-baja, pero hacia el norte en la parroquia rural Guanujo (la más grande de Guaranda), el grado de vulnerabilidad es moderado-alto. Las edificaciones que presentan mayor grado de vulnerabilidad, podrían mejorar este estado, tomando acciones en la mejora de las edificaciones.

5.2. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

A diferencia de los trabajos anteriores, en esta microzonificación sísmica y estudio de vulnerabilidad de las edificaciones, se optimizaron los SIG, mediante un diagrama lógico empírico, en el cual las entidades, atributos y sus relaciones, están claramente identificados y organizados, además se tiene la idea precisa tanto de los elementos que van a intervenir en el proyecto como de sus funciones, este es el primer paso y el más importante en el diseño de la investigación. A partir del marco lógico se aplicó un modelo cartográfico para ejecutar esta tesis.

Por otro lado un limitante del proyecto fue la poca cantidad de datos. La mayoría de estos, fueron proporcionados por el Municipio de la Ciudad de Guaranda y en realidad, en estas ciudades pequeñas de Ecuador, en vías de desarrollo, no se cuenta con presupuestos grandes para este tipo de estudios.

5.3. RECOMENDACIONES

- Utilizar el modelo cartográfico propuesto en esta tesis, para realizar este tipo de estudios, especialmente enfocado desde el punto de vista geológico.

- El Mapa de Microzonificación Sísmica se debería usar como base para planificar el desarrollo urbano de la Ciudad de Guaranda.
- En zonas de Topografía abrupta, se podrían generar deslizamientos como producto inducido por un evento sísmico, por lo tanto se recomendaría un estudio de posible ocurrencia de deslizamientos desencadenados por fenómenos sísmicos.

5.4. REFERENCIAS

- Aguiar, F., García, E. y Villamarín, J. (2010). Leyes de atenuación para sismos corticales y de subducción para el Ecuador. Centro de Investigaciones Científicas de la Escuela Politécnica del Ejército – ESPE. Revista Ciencia, 13 (1), 1-18.
- Aguiar, R., Castro, C. y Toulkeridis, T. (2009). Peligrosidad Sísmica del Ecuador. Revista técnica informativa del Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha, 16, 1-22.
- Arnoff, S. (1989). Geographic Information System: a management perspective. Ottawa- Canadá: WDL Publications.
- BOSQUE, J. (1992). Sistemas de información geográfica. Madrid (España): RA-MA .
- Código Ecuatoriano de la Construcción (2002). Peligro sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos de cálculo para diseño sismo-resistente. (En Línea). Quito-Ecuador. Disponible en:

http://www.disaster-info.net/PED-Sudamerica/leyes/leyes/suramerica/ecuador/otranorm/Codigo_Ecuatoriano_ConstruccionC.pdf (2013, 10 de Enero).

- Comas, D. y Ruiz. (1993). Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica. Barcelona (España): Ariel.
- CONTRERAS, D. (2012). Lección 2 - Amenaza, UNIGIS: 32.
- CONTRERAS, D. (2012). Lección 2 - Amenaza, UNIGIS: 3.
- CONTRERAS, D. (2012). Lección 3 - Vulnerabilidad, UNIGIS: 18
- DGGM, 1982. Mapa Geológico del Ecuador, escala 1:1'000.000, Dirección General de Geología y Minas. Quito.
- EASTMAN, J.R. (1999). Multi-criteria evaluation and GIS, Chap. 35 in Geographical Information Systems, Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., and Rhind, D.W., eds. New York: John Wiley and Sons
- EDUPRO Civil Systems Inc. EDUSHAKE. Versión 1.11 (marzo 2006). Software libre.
- Escorza Jaramillo, Luis (1993). Levantamiento Geológico de la Depresión de Guaranda. Tesis de Grado en Ingeniería en Geología, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas y Petróleo, Universidad Central del Ecuador. Quito – Ecuador.
- Estrategia Internacional para la Reducción de Riesgo de Desastres de las Naciones Unidas- EIRD/NUU (2004). Vivir con el Riesgo. Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres. (En Línea). Disponible en: <http://www.eird.org/vivir-con-el-riesgo/index2.htm> (2013, 20 de Enero)

- Estrategia Internacional para la Reducción de Riesgo de Desastres de las Naciones Unidas- EIRD/NUU (2009). Terminología sobre reducción de riesgo de desastres. (En Línea). Disponible en: www.unisdr.org/publications (2013, 20 de Enero)
- Gobierno Municipal del Cantón Guaranda. (2003). Plan de Desarrollo Estratégico del cantón Guaranda, 44. Guaranda-Ecuador.
- Gobierno Municipal del Cantón Guaranda. (2006). Plan Ambiental Participativo del cantón Guaranda, 84. Guaranda – Ecuador
- Iniesto Mulas de la Peña y Gumiel (2002). Comparación de las Metodologías de Cartografía en la Microzonación Sísmica. Revista GEOGACETA, 1(32), 319-322.
- Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional - IG/EPN (2007). Estudio de evaluación de la amenaza sísmica para la ciudad de Guaranda. Provincia de Bolívar, 66. Guaranda – Ecuador
- Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional - IG/EPN (2007). Breves Fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador. Serie: El riesgo sísmico en el Ecuador, 1(1), 1-17.
- Kramer, S. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice-Hall. Civil Engineering and Engineering Mechanics Series, 1(1), 653.
- Larson, D.R. (1990). Emergency management glossary and acronyms.
- Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. and Rhind, D.W. (2005) Geographic Information Systems and Science. John Wiley y Sons.

- Lazo, M. (1989). Características de la Sismicidad de la Región de Arequipa. Ponencia presentada en el Seminario de Microzonificación Sísmica – 1989 del CISMID, FIC, UNI, Lima.
- Municipio Descentralizado del Cantón Guaranda, página web: <http://www.guaranda.gob.ec>
- MOVE (2010). New Generic Framework Addressing Vulnerability and Disaster Risk to Natural Hazards from a Holistic Point of View. MOVE EUROPEAN COMMISSION DG ENVIRONMENT: 24.
- Neuman, W. (2005). Social research methods: Quantitative and qualitative approaches (6th ed.). Boston: Allyn & Bacon.
- Paucar Camacho, Abelardo (2011). Metodología para la Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Guaranda. Tesis de Maestría en Planificación y gestión de riesgos naturales, Universidad de Alicante, Alicante.
- Reglamento Argentino de Estudios Geotécnicos Reglamento CIRSOC 401. Cap. 8 – 180.
- Sauter, F. (1989). Fundamentos de Ingeniería Sísmica 1, Introducción a la Sismología. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Wald, D. Quitariano, V. Heaton, T. y Kanamori, H. (1999). Relations between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California. Earthquake Spectra, 15 (3), 557-564.
- Winter, T. Iglesias, R. y Lavenu A. (1990). Presencia de un sistema de fallas activas en el Sur del Ecuador, Boletín Geológico Ecuatoriano, 1(1), 53-67.

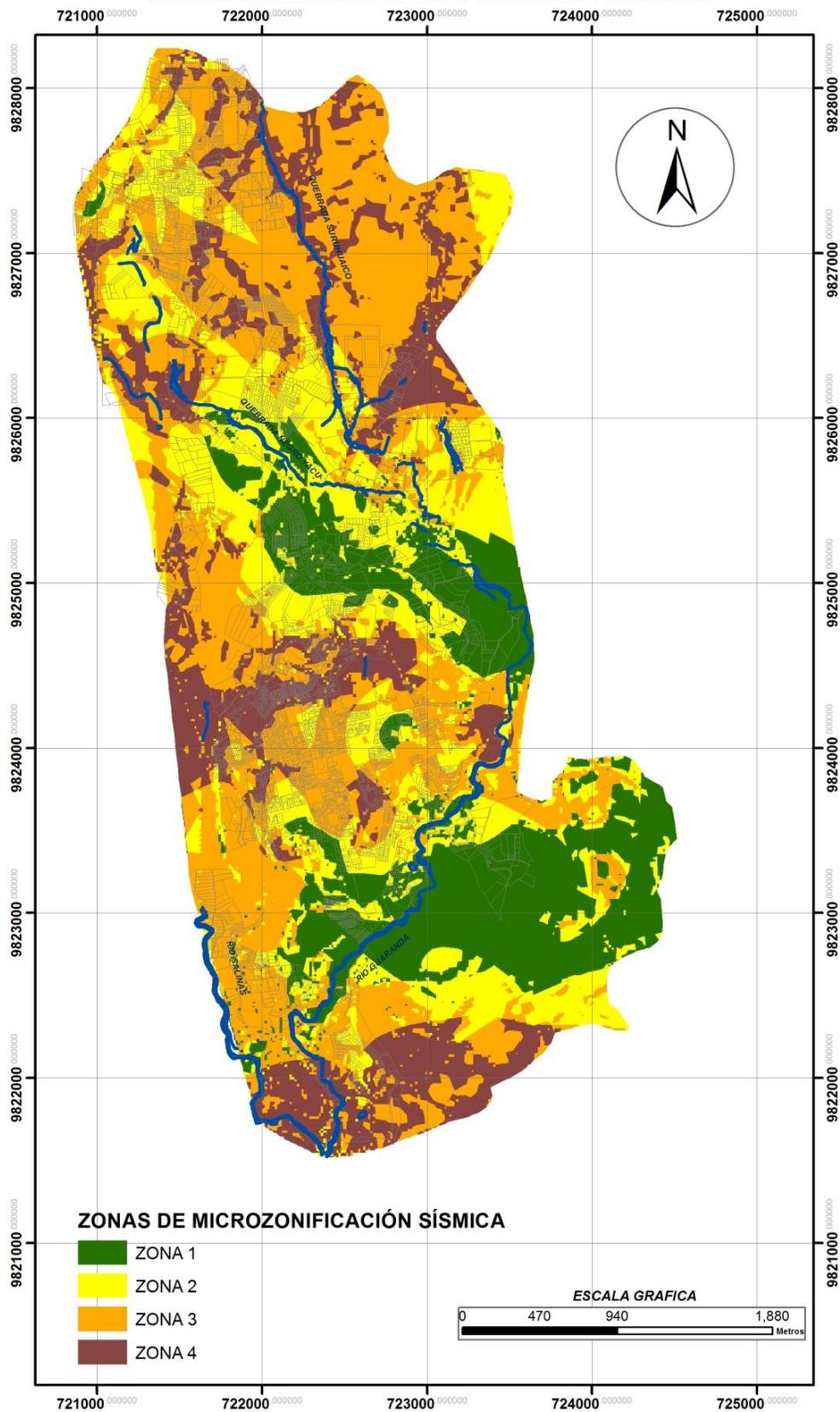
- Universidad Estatal de Bolívar – UEB (2008). Estudio de Línea Base de Amenazas Vulnerabilidades y Capacidades del Centro de Operaciones de Emergencia de Bolívar – COE-B, 55. Guaranda – Ecuador.

- Wanczura, S. Angignard, M. y Carreño, L. (2011). Glossary of definitions and relevant terms. In MOVE (Ed), Identification of gaps in existing methods and conceptualization, 12.

- Zurita, L. (2011). Lección 4- Componentes y Funcionalidades de un SIG, UNIGIS: 4.

ANEXO 1. MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SISMICA DE LA CIUDAD

MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD



ANEXO 2. MAPA DE VULNERABILIDAD FÍSICA DE LAS EDIFICACIONES DE LA CIUDAD.

MAPA DE VULNERABILIDAD FÍSICA DE LAS EDIFICACIONES DE LA CIUDAD

