PROYECTO:
ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO DE LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL SEGÚN LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2011

TOMO 1.0:
ACTUALIZACIÓN DEL MAPA GEOLÓGICO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

Realizado por:
GEOESTUDIOS S.A

Elaborado para:
SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS

Contenido

1 INTRODUCCIÓN 1
2 GEOLOGÍA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL 1
2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL 1
2.1.1 La llanura aluvial de los ríos Daule y Babahoyo 2
2.1.2 El Complejo Deltaico-Estuarino del estuario de la ría Guayas 3
2.1.3 Las colinas de la Cordillera de Chongón-Colonche 4
2.2 DESCRIPCION DE LOS DOMINIOS DE RELIEVE PARA EL ÁREA DE GUAYAQUIL 4
2.2.1 Dominio Estructural 4
2.2.2 Dominio Erosivo 5
2.2.3 Dominio Acumulativo 6
2.3 SUELOS 6
2.3.1 Suelos Residuales 6
2.3.2 Suelos Transportados 7
2.3.3 Suelos Coluviales 7
2.3.4 Suelos Coluviales-Aluviales 7
2.3.5 Suelos Aluviales 8
2.3.6 Suelos Deltáicos 8
2.4 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y ESTRATIGRÁFICAS DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS 8
2.4.1 Formación Piñón 8
2.4.2 Formación Cayo 8
2.4.2.1 Litología 9
C5 – Potencia: 450 m 9
C4: Potencia: 300 m 9
C3. Potencia: 650 m 10
C2. Potencia: 550 m 10
C1. Potencia: 900 m 10
2.4.3 Formación Guayaquil 11
2.4.3.1 Litología 11
Miembro Inferior. Potencia: 85 m 11
Miembro Superior. Potencia: 155 m 11
2.5 MAPA GEOLÓGICO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL (Benitez, 2005) 12

2.6 ESTRATIGRAFÍA DE LA LLANURA ALUVIAL 12
2.7 ESTRATIGRAFÍA DEL LLANO ESTUARINO-DELTAICO 13
2.8 ANÁLISIS TECTÓNICO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL 14
2.9 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 14
2.9.1 Fallas corticales 14
2.9.1.1 Zona de Fallas Pallatanga – Puná – Zambapala - Santa Clara. 17
2.9.1.2 Las fallas Posorja, Tenguel, Esperanza, Domito y Golfo de Guayaquil 20
2.9.1.3 Las fallas del sistema Chongón-Colonche 21
2.9.1.4 La falla Estero Salado 22
2.9.2 Diaclasas 22
2.9.3 Pliegues 23
2.9.4 Zona Megathrust de Subducción 23
3 ACTUALIZACIÓN DEL MAPA GEOLÓGICO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL 25
3.1 UBICACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO 25
3.2 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN 25
3.3 METODOLOGÍA 26
3.3.1 Generación del mapa de elevación 26
3.3.2 Generación del mapa de pendientes 27
3.3.3 Generación del mapa geomorfológico 27
3.3.4 Generación del mapa geológico 27
4 ACTUALIZACIÓN DEL MAPA GEOTÉCNICO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL 29
5 REFERENCIAS 30

ANEXOS

Figura 1. Macrodominios geomorfológicos de Guayaquil: (1) llanura aluvial ríos Daule y Babahoyo; (2) llano estuarino-deltaico de la ría Guayas; (3) Cordillera Chongón-Colonche; G= Guayaquil. (Benitez et al., 2005). 34
Figura 2. Mapa Geomorfológico de la ciudad de Guayaquil y sus alrededores (Mite, 1989). 35
Figura 3. Simbología del mapa Geomorfológico de la ciudad de Guayaquil y sus alrededores. 36
Figura 4. Perfil típico de suelos residuales de la formación Cayo. norte de Guayaquil. 37
Figura 5. Mapa de suelos y rocas de Guayaquil N-O. 38
Figura 6. Columna estratigráfica de la formación Cayo en Guayaquil (Benitez, 1995). 39

Figura 7. Columna estratigráfica de la formación Guayaquil en Guayaquil (Benítez, 1995).40

Figura 8. Mapa Geológico de Guayaquil. proyecto Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil" (Benitez et al., 2005). 41

Figura 9. Simbología del mapa geológico de la ciudad de Guayaquil. proyecto "Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil" (Benitez et al., 2005). 42

Figura 10. Perfil estratigráfico-geotécnico del proyecto de viaducto en la Av. Machala (Consultora Vera y Asociados, 2002, "Estudio para el viaducto de la Av. Machala", elaborado para la M.I. Municipalidad de Guayaquil.). 43

Figura 11. Formación de pliegues por fallas de Cizalla (modificado de Goguel, 1965). 44

Figura 12. Mapa Geológico de las formaciones Cayo y Guayaquil (Informe IIEA – CONUEP, Benítez, 1990) en donde se evidencia el direccionamiento de los alineamientos NE-SO Y NO – SE. 45

Figura 13. Mapa de fallas activas. 46

Figura 14. Mapa de segmentos modelos de subducción. 47

Figura 15. Ubicación del área de estudio. 48

Figura 16. Mapa de elevación de sector norte de la ciudad de Guayaquil. 49

Figura 17. Mapa de pendientes del sector NO de la ciudad de Guayaquil. 50

Figura 18. Mapa de Geoformas. 51

Figura 19. Mapa de ubicación de los 15 MASW de sector de Bastión Popular. 52

Figura 20. Perfiles de los MASW 3 y MASW4 en el sector de Bastión Popular. 53

Figura 21. Análisis multicanal de ondas superficiales MASW 2 y MASW 5. 54

Figura 22. Mapa de ubicación de los MASW con su respectiva caracterización geotécnica. 55

Figura 23. Mapa de actualización de mapa Geológico de la ciudad de Guayaquil. sector norte. 56

Figura 24a. Mapa actualizado geológico de la ciudad de Guayaquil. 57

Figura 24b. Leyenda de mapa geológico de la ciudad de Guayaquil. 58

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento presenta la metología empleada para la actualización del mapa geológico de la Ciudad de Guayaquil en el contexto del proyecto "Elaboración del documento de la microzonificación sísmica y geotécnica de la ciudad de Guayaquil según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011". Este documento representa una actualización a la Investigación y Estudio del Comportamiento Dinámico del Subsuelo y Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Guayaquil – Estudio Geológico y Estudio Geotécnico Fase II (Vera Grunauer et al., 2005) presentado a la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil.

La metodología se basa en los resultados de modelación SIG (Sistemas de Información Geográfica) como herramienta para modificar la geología de la ciudad de Guayaquil, ayudándose de información geomorfológica, estratigráfica y estructural; así como también de datos de campo, sondeos, entre otros. Se puso especial interés en la definición de los depósitos lacustres y las formaciones rocosas Cayo y Guayaquil que afloran en la zona noroeste de la ciudad de Guayaquil

El objeto principal del presente manual es presentar el mapa geológico actualizado de la ciudad de Guayaquil. Adicionalmente se presenta una actualización del mapa geotécnico de la ciudad de Guayaquil. Una información detallada se presenta en el tomo 2.2 de este proyecto.

2 GEOLOGÍA DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

En Guayaquil, convergen tres macro-dominios geológicos cada uno de los cuales presenta sus propias características geomorfológicas. Estos macro-dominios según Benítez et al. (2005) son:

- La llanura aluvial de los ríos Daule y Babahoyo,
- El complejo deltaico-estuarino de la ría Guayas, y
- Las colinas de la Cordillera Chongón-Colonche.

En la Figura 1 se identifican los macrodominios formados por depósitos aluviales de los ríos Daule y Babahoyo, depósitos deltaicos-estuarinos de la ría Guayas y Formaciones rocosas Ancón, Las Masas, San Eduardo, Guayaquil, Cayo y Piñón que afloran a lo largo de la Cordillera Chongón Colonche.

2.1.1 La llanura aluvial de los ríos Daule y Babahoyo

Ocupa el sector NE del área metropolitana de Guayaquil y parte de los municipios de Samborondón y Durán. Está conformada por las cuencas hidrográficas de los ríos Daule y Babahoyo, cuya confluencia se encuentra en el sitio La Puntilla cerca del puente de la Unidad Nacional, dando origen al río Guayas que corre en dirección meridional en medio de cerros testigos (Durán y Santa Ana–El Carmen). Las geoformas asociadas a la llanura aluvial son:

Llanura de inundación parcial – Se depositan limos y arcillas a veces muy orgánicos producto de las inundaciones en las épocas de mayores crecientes durante la estación lluviosa, constituyendo la mayor parte de la llanura aluvial.

A pesar de ello, se han construido allí las principales ciudadelas de Guayaquil Norte tales como Atarazana, FAE, Garzota, Alborada (primeras etapas), Sauces (menos la etapa VII) y Guayacanes. La construcción de estas ciudadelas ha requerido de grandes cantidades de relleno de ingeniería para cubrir las áreas de mayor riesgo de inundación.

Cauces fluviales, islas y bancos – Son muy comunes los bancos arenosos y limo-arcillosos originados por los procesos acumulativos de sedimentación de los ríos Daule y Babahoyo, debido a que presentan amplios cauces meandriformes hacia la parte norte.

Estos materiales constituyen las islas en el río Babahoyo inferior (por ejemplo, islas Mocolí, Penitencia y Herminia). Un gran banco de arena se forma en la desembocadura del río Daule, el mismo que satisface las necesidades materiales de construcción de Guayaquil. En este banco, en los últimos años (después de El Niño de 1998), ha emergido una isla la cual ahora es reivindicada por el cantón Guayaquil como parte de su territorio.

Meandros Abandonados - En ambas márgenes del río Daule se observan varias trazas de cauces antiguos del río. El cauce más conspicuo se encuentra entre las ciudadelas Samanes, Guayacanes y Sauces, con centro en Polaris, constituyendo una zona de topografía muy baja con una gran laguna que ha sido paulatinamente rellenada por el desarrollo de las ciudadelas antes mencionadas.

Estas características geomorfológicas de la llanura aluvial han sido mapeadas por Mite (1989). El continuo desarrollo de la ciudad hacia el Norte ha ocupado estas áreas, provocando zonas de drenaje conflictivo. Son especialmente notorios aquellos en el límite Oeste de la llanura aluvial, al pie de las colinas de varios sectores de las ciudadelas Samanes, Alborada, Guayacanes y Orquídeas.

2.1.2 El Complejo Deltaico-Estuarino del estuario de la ría Guayas

Es una extensa área de forma más o menos triangular constituida de innumerables islas con bosque de manglar y canales de agua salobre que se extiende desde los cerros del Carmen, Santa Ana y Durán hacia el Sur, hasta su extremo meridional separado de la isla Puná por el canal que conecta al canal Jambelí con el canal de El Morro (frente a Posorja).

Los aspectos geomorfológicos principales fueron definidos por Benítez (1975) y comprenden:

Canal distributario principal constituido por el estuario Guayas. De dirección N-S, se extiende desde Guayaquil hasta cerca de la Isla Puná. Hacia el Sur (fuera del área de estudio del presente proyecto) este canal se bifurca formando canales secundarios y nuevas islas. Un ejemplo muy importante de estas islas es la Isla Santay, donde confluyen los ambientes aluviales y estuarino-deltaico. El canal distributario presenta a su vez una zonificación en su sección transversal, distinguiéndose un canal propiamente dicho (canal s.s.) por donde circulan las corrientes de marea, llevando materiales arenosos y zonas de depositación limo-arcillosa.

El malecón natural. Se muestra muy evidente en la margen derecha occidental del canal distributario principal, constituye una franja alargada y angosta que se extiende casi ininterrumpidamente desde el pie del cerro Santa Ana hacia el Sur hasta cerca de la Isla Puná. Esta franja, de unos 30 Km de largo por 1 a 3 Km de ancho, es lo que se conoce como la "Península de Guayaquil"; es allí donde se inicia el desarrollo de la ciudad de Guayaquil y hasta los años 50 la ciudad estaba aún confinada en esta unidad geomorfológica.

Los canales e islas del "Estero Salado". El llamado "Estero Salado" y las islas del SO de Guayaquil conforman un sistema de sedimentación activo de características muy especiales donde el principal elemento constructor es el bosque de manglar. Constituido por varias especies especialmente adaptadas a las aguas salobres de poca profundidad con fondo arcillo-limoso. Este sistema está conectado al estuario del Guayas por varios canales de dirección E-O (canales de La Esclusa, Chupadores, Puná Norte, etc.). Las islas presentan, en general, una zonificación concéntrica donde se encuentran, desde el centro hacia la periferia, las siguientes subzonas:

S – salitrales: zonas sin vegetación, inundables en las mareas de sicigias
m – plantas y arbustos de poca altura
M3 – árboles de poca altura (mangle) con densidad de copas heterogénea
M2 – bosque de manglar de poca altura (5-15 m) de copas homogéneas; se nota un desarrollo importante de canales con drenaje de arreglo radial

M1 – bosque homogéneo de manglar alto

Las áreas M1 (bosque alto) han desaparecido de las islas del Sur de Guayaquil debido a la gran explotación a que se ha visto sometido el mangle para ser utilizado en el área de la construcción, especialmente en la función de pilotaje. Las áreas S (salitrales) han sido ocupadas paulatinamente por las piscinas camaroneras, cuya tendencia ha sido de crecer a expensas de la deforestación de las áreas m y M3.

2.1.3 Las colinas de la Cordillera de Chongón-Colonche

Esta cordillera ocupa el cuadrante Noroeste de la ciudad y se extiende hacia el Oeste a partir de los cerros del barrio San Pedro y ciudadela Bellavista. Se trata de una estructura homoclinal de rumbo general promedio de N110 que levanta rocas antiguas del Paleoceno y del Cretáceo, las mismas que están sometidas a procesos erosivos intensos desde aproximadamente el Eoceno Superior (hace 40 Ma). En este macro-dominio están comprendidas las rocas de las formaciones Ancón, Las Masas, San Eduardo, Guayaquil, Cayo y Piñón, cuyo estudio fue objeto del Proyecto IIEA-CONUEP (1990). Las geoformas de esta área están asociadas en tres dominios bien definidos (Mite, 1989).

- Dominio estructural (estructuralmente guiado)
- Dominio erosivo
- Dominio acumulativo

En la Figura 2 y 3 describe las unidades geomorfológicas de mayor magnitud originadas por fenómenos estructurales, unidades geomorfológicas donde predominan los procesos erosivos sobre procesos morfométricos y las geoformas originadas por la acumulación de materiales erosionados con su respectiva simbología.

2.2 DESCRIPCION DE LOS DOMINIOS DE RELIEVE PARA EL ÁREA DE GUAYAQUIL

2.2.1 Dominio Estructural

Comprende la estribación sur de la cordillera Chongón-Colonche. Representa la cuesta homoclinal formada por las calizas de la formación San Eduardo y las lutitas silíceo-calcáreas de la formación Guayaquil. El relieve está condicionado por la estructura geológica homoclinal la cual presenta un buzamiento promedio de 17º (variable entre 15º y 40º) hacia el Sur. Las unidades geomorfológicas son colinas altas (200 a 400 msnm–metros sobre el nivel

del mar) y colinas medias (100 a 200 msnm) con crestas agudas. Anotándose el hecho de que el nombre "cordillera" (cadena montañosa) es usado en este caso, aunque esta denominación está reservada para cerros de altura mayor a 400 m. Las pendientes naturales observadas en este dominio son generalmente menores que 40º.

2.2.2 Dominio Erosivo

Comprende la estribación norte de la cordillera Chongón-Colonche, en donde afloran las rocas de las Formaciones Piñón y Cayo. En este caso la topografía puede presentar pendientes de sentido contrario al de la estructura homoclinal que predomina en el área.

Las unidades geomorfológicas dominantes son colinas bajas con alturas menores a 100 msnm y superficies con pendientes moderadas (menores a 30º). Las colinas son alargadas en dirección ONO-ESE, evidenciando el control estructural que ejerce la estructura homoclinal del mismo rumbo. En cambio, algunas geoformas (descritas a continuación) son alargadas en dirección Norte-Sur, evidenciando un mayor control litológico (Mite, 1989).

A continuación se resumen algunas características de las colinas de acuerdo a la formación geológica (cuyos límites se encuentran en el mapa geomorfológico de la Figura 2).

- Formación Piñón: Esta comprende colinas de 50 a 200 m de altura, con vertientes de formas convexas o rectilíneas y cimas redondeadas.
- Formación Cayo: Donde domina el Miembro Calentura, colinas de 50 a 100 m de altura con vertientes de formas cóncavas, cimas redondeadas y disectadas. Cuando se presentan en cerros aislados (Ciudadela Las Orquídeas), las colinas son de menor altura y presentan vertientes de forma convexa. En este sector se encuentra una geoforma anómala de dirección NE-SO (loma Jordán) que está controlada por fallas en la misma dirección. En la parte basal del Miembro Cayo (Formación Cayo), presenta las geoformas M, N y P (Mite, 1989) de dirección anómala N-S que están controladas por la litología, constituida principalmente por brechas. Estas colinas de baja altura (20-50 m) tienen vertientes cóncavo-convexas y de cimas redondeadas. Hacia el NO, en este mismo nivel estratigráfico, se presentan colinas más altas (100-200 m). En las partes media a superior de la Formación Cayo, se observa un mayor control de la estructura homoclinal. Este es el caso del cerro Mapasingue, cuyo relieve, algo menos definido, continúa en dirección del campus de la ESPOL. Desde este sitio hacia el Sur, hasta el contacto con la formación Guayaquil, las geoformas se constituyen en bandas subparalelas de crestas alternativamente redondas, agudas, planas y redondas, debido a la creciente intercalación de materiales lutíticos entre los estratos.

2.2.3 Dominio Acumulativo

Se refiere como dominio acumulativo, dentro del macro-dominio de la cordillera Chongón-Colonche, cuando ésta se encuentra sometida a un proceso permanente de erosión y existen acumulaciones transitorias de los materiales provenientes de dicho proceso. Estas acumulaciones son típicamente conos de deyección, coluviales, aluviales y depósitos lacustres.

2.3 SUELOS

La diversidad de los suelos existentes en el área de estudio se explica por la combinación de ambientes geológicos, por la ocurrencia de diferentes materiales originales (in situ) y la acción de la geodinámica externa.

La clasificación de los suelos, desde el punto de vista geológico, establece suelos residuales, transportados, coluviales, coluviales-aluviales, aluviales y deltáicos.

Los estratos pertenecientes a las formaciones Cayo y Guayaquil presentes en las colinas bajas menores a 100 msnm, en las estribaciones de la cordillera Chongón Colonche son en general poco potentes, predominando los suelos residuales. El proceso erosivo origina detritos que se depositan al pie de las colinas, cauces o valles incipientes, formando los suelos transportados.

2.3.1 Suelos Residuales

Se presenta un control litológico-formacional bien marcado. Los suelos desarrollados en las rocas de la formación Guayaquil son típicamente de color rojo ladrillo, de espesores variables entre 1 y 3 m. Son muy potentes en los cerros de Durán y en la parte Oeste de Guayaquil (sector Av. del Bombero) donde se puede observar perfiles de roca meteorizada de hasta 30 m de potencia.

Los suelos desarrollados en las areniscas y brechas de la formación Cayo son en general menos potentes que los de la formación Guayaquil. En el horizonte A se evidencia capa de 20 cm. a 1 m. de espesor de suelo arcilloso – orgánico negro. El horizonte B es típicamente una capa métrica de arcilla limo-arenosa color café rojizo. El horizonte C puede alcanzar potencias de 10 a 15 m. La Figura 4 muestra un perfil típico de la Formación Cayo.

Los suelos desarrollados en las lutitas de la formación Cayo también son de color rojo o amarillo-rojizo, y más potentes que en las areniscas. Un caso muy visible es el del cerro Jordán y sus alrededores, donde se han desarrollado potentes suelos de color rojo ladrillo.

Esta zona coincide con una zona de falla de dirección NE-SO cuya presencia debió favorecer el gran desarrollo de estos suelos, a más del control litológico ya mencionado.

Un estudio más reciente en el sector del relleno sanitario de Las Iguanas ("botadero" de basura) estableció un buen desarrollo – con espesores métricos – de arcillas rojas y verdes en el horizonte B del miembro basal calcáreo Calentura.

Los suelos desarrollados (horizonte B) en rocas de la Formación Piñón (diabasas) son arcillosos de color café. Cuando las rocas de Piñón son brechas volcánicas, como en el relleno sanitario de Las Iguanas, el horizonte B es muy profundo, con arcillas verdosas cloríticas y bentoníticas.

2.3.2 Suelos Transportados

El proceso erosivo origina detritos que se depositan al pie de las colinas o en los cauces o valles incipientes forman los suelos transportados. Estos tipos de suelos se forman lejos de la roca madre. Uno de los afloramientos de estos tipos de suelos se encuentra en Mapasingue y Ave. Las Aguas, donde se han transportado suelos de material grueso, arenisca de grano grueso deslenable mezcladas con lutitas para rellenar el sector.

2.3.3 Suelos Coluviales

Se encuentran al pie de las colinas más altas, clasificadas anteriormente como dominio estructural. En las laderas meridionales se observan que estos coluviales (por ejemplo, en la Cooperativa San Pedro) alcanzan algunos metros de potencia. Estas arcillas son típicamente rojas, duras al tacto en condiciones de sequedad, pero muy plásticas en condiciones húmedas con cantidades variables de bloques de lutitas síliceas ("chert"). En las laderas meridionales de estas colinas se presentan varios *conos de deyección.*

2.3.4 Suelos Coluviales-Aluviales

Se encuentran en los cauces o pie de colinas del dominio erosivo, como los observados en Colinas de los Ceibos o en el Campus de la ESPOL. Son suelos de grano heterogéneo que van desde arcillas y limos hasta arenas y restos de conglomerado anguloso. Alternan con capas arcillosas negras expansivas de origen lacustre. Estos suelos pueden presentar varios metros de potencia.

2.3.5 Suelos Aluviales

Los suelos aluviales que existen en la cuenca de drenaje del rio Guayas, han sido transportados y depositados a todo lo largo y ancho de la zona plana y amplia que constituye la plataforma Daule y Babahoyo. Presenta una definición bien marcada, en los límites Nor-Orientales del área de estudio (por ejemplo, en la ciudadela Sauces VI) donde se presenta ya una influencia del macro-dominio de la llanura aluvial de los ríos Daule y Babahoyo.

2.3.6 Suelos Deltáicos

Los suelos deltaicos han sido transportados y depositados por el conjunto de canales que conectan a la ría o estuario del Guayas con el Golfo Guayaquil.

En la Figura 5 se muestra el mapa de suelos y rocas de Guayaquil, mencionando los tipos de suelos presentes en la parte N-O que son depósitos Aluvio lacustre y Depósitos Aluviales.

2.4 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA Y ESTRATIGRÁFICAS DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS

2.4.1 Formación Piñón

Constituye el basamento cristalino de la costa ecuatoriana. Está conformado por un complejo volcánico de principalmente rocas basálticas con lavas almohadilladas lo que indica que fueron depositadas en un medio acuoso.
La formación Piñón también presenta lavas con formas de enfriamiento de tipo columnar o Masivo. También se encuentra una presencia importante de intrusivos de composición granodiorítica a tonalítica.

2.4.2 Formación Cayo

En el estudio IIEA-CONUEP (Benítez, 1990) se resumió la columna estratigráfica de la formación Cayo en Guayaquil. En la Figura 6 se resume una columna estratigráfica de la formación Cayo, la misma que es confirmada y mejorada en el estudio posterior de Benítez (1995).

La Formación Cayo es un grupo potente de rocas de origen volcano-clástico depositadas en ambiente marino, sobreyaciendo a la formación Piñón e infrayaciendo a la formación Guayaquil. El contacto con la Formación Piñón es erosional.

Para una mejor descripción se subdividió a la formación en 5 miembros caracterizados por el predominio de lutitas (y/o turbiditas finas) o de areniscas, conglomerados y brechas (turbiditas métricas y megaturbiditas).

La potencia total de la Formación Cayo en el corte estratigráfico (Figura 6) es de 2850 m. En vista de que en las secciones basales no se midieron columnas completas, la potencia fue calculada con valores promedio de rumbo y buzamiento (rumbo = N110, buzamiento = 17º al Sur). Se considera que los valores de potencia son representativos dado que al medir en el campo la columna casi completa del miembro superior C1 se encontraron valores comparables.

2.4.2.1 Litología

C5 – Potencia: 450 m

Es el miembro basal de la formación Cayo, reconocido desde Thalman (1946) como "miembro basal Calentura", aunque en realidad su localidad tipo (antigua cantera Calentura, actual cerro Peñón del Río) no corresponde efectivamente a la base de Cayo, razón por la cual dicha denominación debería ser abandonada. Aflora en el cerro Jordán, ciudadela Las Orquídeas y en la Vía Perimetral desde el cerro Jordán hasta el camino de acceso a la procesadora de basura. La litología es variada, predominando las rocas de grano fino con las siguientes litologías:

• Megaturbiditas con clastos de lutitas siliceas.
• Lutitas silíceas Tobáceas y tobaceas (Lomas de Jordan).
• Calizas micríticas decimétricas.

Las rocas de grano fino contienen además microfauna de radiolarios. También se observaron rocas de grano grueso como areniscas tobáceas blancas métricas, tobas arenosas y areniscas conglomeráticas con clastos de lutitas silíceas, estas rocas son turbidíticas, tobáceas, feldespáticas. Se observaron frecuentes diques ígneos decimétricos de rocas ígneas porfiríticas andesíticas.

C4: Potencia: 300 m

Los afloramientos tipo son las canteras del Quinto Guayas (en Samanes), Colinas del Samán y alrededores de la Cdla. El Cóndor. Consiste principalmente de megaturbiditas con las siguientes litologías:

- Brechas métricas a decamétricas compuesta de rocas ígneas andesíticas (espilíticas)
- Areniscas turbidíticas métricas a decamétricas micro brechosas.
- Lutitas tobáceas intercaladas en menor proporción,
- Tobas arenosas vitro-feldespáticas cloritizadas que recuerdan un carácter espilítico,

- Frecuentes diques ígneos métricos a decímetricos, diabásicos, porfiríticos.

La continuidad lateral de estas rocas se ha comprobado en el sector de la lotización INMACONSA (Km. 10-11 Vía a Daule), aunque más hacia el NO, en el sector de la entrada al basurero, el contacto con el miembro basal C5 parece ser erosivo o bien fallado.

C3. Potencia: 650 m

Es un miembro con predominio de rocas de grano fino con intercalaciones de areniscas métricas. Aflora muy bien en las colinas de Sauces VI, Aldea de Niños y en la Vía Perimetral. En forma discontinua vuelve a aparecer en el cerrito Mapasingue (200 m al Norte del Terminal Terrestre) y en Peñón del Río (antigua cantera Calentura). Comprende los siguientes tipos de rocas:

• Lutitas tobáceas calcáreas con microfauna de radiolarios y foraminíferos,
• Areniscas tobáceas feldespáticas decimétricas a métricas,
• Tobas arenosas y microbrechosas decimétricas a métricas.

C2. Potencia: 550 m

Predominan las megaturbiditas decamétricas, que forman característicamente potentes estratos de 10 a 20 m de turbiditas gradadas (Ta,b), con coloración gris verdosa, muy duras en estado fresco y color amarillo- café cuando están alteradas.

En los nuevos cortes de la Vía Perimetral a la altura del Campus Politécnico se pueden ver afloramientos espectaculares de estas rocas. También afloran en el cerro Mapasingue-Lomas de Urdesa y Cdla. Kennedy Norte. Son frecuentes las intercalaciones de lutitas silíceo-tobaceas, decimétricas, así como su inclusión en forma de clastos o de estratos discontinuos en el seno de las megaturbiditas. Son también comunes las areniscas métricas (también turbidíticas) tobáceas lito-feldespáticas, así como niveles tobáceos finos. El color verdoso característico de estas rocas se debe a la extensa cloritización de sus elementos.

C1. Potencia: 900 m

Este miembro aflora casi continuamente en la Vía Perimetral y en el lado sur de la Vía a la Costa desde la Universidad Católica hasta el Km. 7. Al tope de la formación Cayo vuelven a predominar rocas decimétricas de grano fino de gran extensión lateral. Son generalmente lutitas tobáceas y turbiditas finas decimétricas que podrían confundirse con las lutitas de la formación Guayaquil, a no ser por su menor contenido de sílice o carbonato. Son frecuentes las intercalaciones de areniscas decimétricas a métricas, e incluso de megaturbiditas. Por ejemplo, un evento de gran magnitud produjo el depósito de megaturbiditas que se pueden ver al tope de la formación en Bellavista que ser seguidas a lo largo del contacto con la formación Guayaquil suprayacente.

2.4.3 Formación Guayaquil

La formación Guayaquil, relegada a la condición de miembro superior de la Formación Cayo por Bristow (1976), presenta características lito- y bioestratigrafías bien definidas que le permiten mantener su status original de formación.

Su potencia medida en el corte es de 320 m. Esta formación Guayaquil conforma un gran paquete de lutitas síliceas y calcáreas que conforman el dominio geomorfológico estructural del flanco sur de la cordillera Chongón-Colonche. Sus características estratigráficas permiten subdividirlas en los miembros Inferior y Superior. La condición de "miembro" es provisional.

Un nuevo estudio efectuado por Mejía (1992) precisó el corte de la Vía Perimetral como la nueva *localidad tipo* de la formación, con nuevos datos sobre los espesores y edades.

En la Figura 7 muestra esquemáticamente la estratigrafía de la formación Guayaquil en la ciudad de Guayaquil.

2.4.3.1 Litología

Miembro Inferior. Potencia: 85 m
Con justicia este miembro debería ser llamado formación Guayaquil sensu stricto porque corresponde a lo que fue originalmente descrito como formación Guayaquil en la localidad del barrio San Pedro por Sheppard (1946).

Consiste en una secuencia monótona de lutitas síliceas decimétricas con microfauna de radiolarios y enriquecimiento secundario de nódulos de pedernal (chert). Son frecuentes las intercalaciones de arcillolitas tobáceas de poco espesor. Hacia el tope aumenta ligeramente la microfauna de foraminíferos. Este miembro aflora muy bien en el corte de la ciudadela Bellavista.

Miembro Superior. Potencia: 155 m
En el proyecto IIEA-CONUEP no se midió un corte completo, pero el estudio de J. Mejía (1992) en su nueva localidad tipo de la Vía Perimetral estableció los valores indicados de potencia, litología y edad.

Consiste en lutitas calcáreas y lutitas síliceas color gris oscuro en estratos decimetritos rítmicos de gran continuidad lateral; hacia el tope se presenta una unidad de lutitas síliceas plegadas con nódulos de pedernal.

Este miembro exhibe, desde su base, estratos intercalados de tobas arenosas (o areniscas tobáceas) decimétricas a métricas, calcáreas (más potentes hacia la base). Las lutitas calcáreas son especialmente ricas en materias orgánicas, al punto de ser consideradas bituminosas (com. pers. del Ing. G. Montenegro de Petroecuador), presentando una gran riqueza en microfauna de foraminíferos, radiolarios y espículas de esponjas.

2.5 MAPA GEOLÓGICO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL (Benitez, 2005)

En la Figura 8 y 9 muestra el mapa Geológico de ciudad de Guayaquil, donde se delimita las Formaciones Rocosas Piñón, Cayo y Guayaquil con su respectiva simbología.

2.6 ESTRATIGRAFÍA DE LA LLANURA ALUVIAL

Se han efectuado pocos estudios para conocer la estratigrafía de la llanura aluvial. En realidad, los únicos que se conocen son los realizados para efectuar los diseños de los puentes sobre los ríos Daule y Babahoyo. En el diseño del nuevo puente Carlos Pérez Perasso sobre el río Daule efectuado por el MOP (2004), y en cuya construcción se efectuaron 15 perforaciones geotécnicas que atravesaron toda la serie aluvial hasta llegar al substrato rocoso, se elaboró un perfil estratigráfico-geotécnico.

Estas perforaciones permitieron determinar que la profundidad del substrato rocoso varía entre 40 y 65 m de profundidad y confirmar que la formación que aparece por debajo del aluvial es la formación Cayo.

A pesar de la falta de los estudios geológicos mencionados, se puede resumir la columna aluvial en las siguientes secuencias de abajo hacia arriba:

- Superficie ondulada de erosión cortando la formación Cayo a una profundidad entre 40 y 65 m de profundidad. La edad de esta superficie podría estar entre 8000 y 18000 años antes de la última subida del nivel del mar.
- Secuencia aluvial de un río en estado de madurez formada por conglomerados en la base, luego areniscas y arcillolitas al tope. Se localiza entre 40 y 65 m de profundidad rellenando la superficie antigua de erosión.
- Encima de la secuencia aluvial se encuentra una secuencia estuarino-deltaica conformada por arcillolitas verdosas con características geotécnicas principalmente CH, localmente OH y con más bien escasos lentes de arena fina limosa.
- El relleno se termina con la secuencia más superficial de una capa casi continua de arenas aluviales actuales, con intercalaciones arcillosas, que corresponde a los depósitos de la llanura aluvial actual en estado de senilidad.

2.7 ESTRATIGRAFÍA DEL LLANO ESTUARINO-DELTAICO

El estudio de los sedimentos en la zona deltaico-estuarina de Guayaquil se han realizado tradicionalmente mediante las perforaciones geotécnicas para el diseño de las grandes obras de la ciudad.

En estas perforaciones geotécnicas se ha encontrado que el espesor de la cobertura sedimentaria se encuentra alrededor de los 50-60 m antes de alcanzar los estratos de rocas antiguas. En perforaciones efectuadas para el puente del Estero Salado, en la prolongación de la calle Gomez Rendón, se encontraron sedimentos (arcillolitas tobáceas y areniscas tobáceas) de la formación Ancón de edad Eoceno a 30 m de profundidad. En la cobertura se encontró, en la base de la secuencia cuaternaria, materiales coluviales rojizos con chert provenientes de la cordillera Chongón-Colonche por debajo de los suelos típicamente estuarinos (datos del autor). Estos suelos son principalmente arcillas limosas gris verdosas con capitas de arena limosa y esporádicos bancos de arena con restos de conchas.

En el estudio para el viaducto de la Avenida Machala se realizaron varias perforaciones geotécnicas que permitieron elaborar un perfil geotécnico-estratigráfico (Figura 10). En este perfil no se llegó al sustrato rocoso antiguo. Se observa, desde abajo hacia arriba, las siguientes secuencias:

- En la base, un estrato de arenas SM casi continúo entre 35 y 40 m de profundidad.
- Encima de las arenas, se encuentran unos 20 m de lentes limosos, arcillosoinorgánicos y areno-arcillosos.
- En el tramo más superficial de 20 m, se encuentra una potente secuencia de arcillas CH con ocasionales lentes de arena limosa o de limo arcilloso.

Al igual que para las perforaciones geotécnicas de la llanura aluvial, en esta zona no se han realizado estudios geológicos para establecer la génesis de la cobertura sedimentaria 55 estuarina. Se puede afirmar que en esta columna se nota muy poca influencia aluvial, incluso en la parte inferior del perfil.

Hacia el extremo sureste del área de estudio, la cobertura estuarina debería tener tendencia a ser menos potente ya que se acerca a un sector situado al Sur del área de estudio donde afloran rocas de la formación Piñón en pequeñas islas al Sur de Puerto Marítimo, y al sur de Las Esclusas, en Punta Piedra, afloran rocas del basamento metamórfico.

2.8 ANÁLISIS TECTÓNICO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

Todas las estructuras tectónicas analizadas se encuentran genéticamente relacionadas con el campo de esfuerzos que generó las estructuras mayores que, en nuestro caso, son las fallas NE- SO de rumbo sinistrales.

Los pliegues cuyos ejes presentan dirección promedio N60°, se explican por la acción de las fallas NE-SO que rompen el basamento (formación Piñón) o las rocas más plásticas de la formación Guayaquil suprayacente las que, en cambio, se pliegan según el mecanismo que se propone en la Figura 11.

Es un hecho conocido que las lutitas silíceas son muy sensibles a los esfuerzos aplicados, constituyéndose en verdaderos registros de la historia tectónica de una región.

Los pliegues N60° forman un ángulo de 20º a 30º con la dirección de las fallas de rumbo.

En relación al campo de esfuerzos no se ha podido dar una respuesta satisfactoria. Las fallas de rumbo sinistrales serían la consecuencia de una compresión de dirección N-S, en contraste con los esfuerzos de compresión predominantes en la actualidad, que son de dirección E-O (considerando la dirección N-S del sistema de subducción ecuatoriano), produciendo lentos desplazamientos dextrales a lo largo de la falla Guayaquil con rumbo también NE-SO.

2.9 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

2.9.1 Fallas corticales

En el estudio realizado por (Benitez, 2005) se identificaron dos direcciones de alineamientos: NE-SO y NO-SE usando imágenes radar. El grupo principal de estos alineamientos, coincide con una familia de fallas de rumbo NE-SO que han sido medidas en el campo en algunos sitios y en otros han sido inferidas (Figura 12).

En la cooperativa San Pedro, se midió una falla de rumbo N30, buzando 65º al SE, que pertenece a esta familia, presentando estrías horizontales. En el sector Los Senderos se realizó un corte (Benitez, 2005) se observó una interesante zona de fractura de dirección promedio NE-SO, con fallas en apariencia normales buzando hacia el NO y una falla inversa buzando al SE; sin embargo, todas estas fallas presentan estrías subhorizontales indicando que el evento tectónico principal es una falla de rumbo de dirección NE-SO.

Este sistema de fallas explica la forma escalonada que presentan los cerros del extremo oriental de la cordillera Chongón-Colonche desde la calle Portete hasta Durán. Los alineamientos de dirección NO-SE también son debidos a una familia de fallas de alto

ángulo, también de rumbo (se observan estrías horizontales), posiblemente sinistrales. Estas fallas son menos importantes que las anteriormente descritas.

Un tercer grupo de fallas tiene rumbo N100 y altos buzamientos en general hacia el Norte. Son fallas de distensión evidenciándose en la vía Perimetral. Este es el grupo de fallas que se presenta con más frecuencia en el área.

Un análisis a detalle ha sido aplicado a 21 fallas geológicas activas y capaces de generar sismos (ver, Figura 1). Las fallas estructuralmente segmentadas son descritas a continuación: (1) falla Carrizal, conformada por seis segmentos, (2) falla Cascol, (3) falla Chanduy, (4) falla Churute, (5) falla Colonche, conformada por siete segmentos, (6) falla Domito, (7) falla Esperanza, (8) falla Estero Salado, caracterizada por ser la más larga alcanzando los 98.79 Km, (9) falla Golfo de Guayaquil, (10) falla Jambelí, (11) falla Jipijapa, conformada por dos segmentos, (12) falla La Cruz, conformada por cuatros segmentos, (13) falla Las Delicias, (14) falla Pallatanga, (15) falla Posorja, (16) falla Puná, (17) falla Punta Salinas, (18) falla San Jacinto, conformada por tres segmentos, (19) falla Santa Clara, conformada por dos segmentos, (20) falla Tenguel, y (21) falla Zambapala – Lechuza, conformada por seis segmentos. Estos segmentos son conocidos también como sistemas de fallas segmentadas.

En la Figura 13, se presenta la localización de las fallas y en la Tabla 1 se presentan los valores estimados de las características sismológicas de cada falla.

Tabla 1. Fallas Activas

#ID Falla	Caracterización de Fallas Activas	Tipo	Long. (Km)	Salto Falla (mt)	Prof. (Km)	Rumbo	Buz.	Tasa de desplaz. (mm/año)			Mw Caracteristicas
								min	med	max	
1a	Falla Carrizal	normal	3.24	0.42	20	NW	45N	0.1	0.2	0.3	5.67
1b	Falla Carrizal	normal	5.77	0.55	21	NW	45N	0.1	0.2	0.3	5.96
1c	Falla Carrizal	normal	6.18	0.56	21	NW	45N	0.1	0.2	0.3	6
1d	Falla Carrizal	normal	8.61	0.65	10	NW	45N	0.1	0.2	0.3	6.16
1e	Falla Carrizal	normal	2.25	0.36	21	NW	45N	0.1	0.2	0.3	5.49
1f	Falla Carrizal	normal	13.23	0.79	35	N40W	45N	0.1	0.2	0.3	6.38
2	Falla Cascol	dextral	83.08	1.78	12	N45W	90	0.3	0.4	0.5	7.31
3	Falla Chanduy	normal	36.4	1.24	24	N45E	N	0.1	0.1	0.2	6.89
4	Falla Churute	normal	33.31	1.19	12	N50W	S	0.1	0.1	0.2	6.85
5a	Falla Colonche	inversa	5.98	0.56	25	N120E	N	0.3	0.4	0.5	5.98
5b	Falla Colonche	inversa	17.54	0.89	20	N120E	N	0.3	0.4	0.5	6.56
5c	Falla Colonche	inversa	27.98	1.1	21	N120E	N	0.3	0.4	0.5	6.32
5d	Falla Colonche	inversa	5.92	0.55	12	N120E	N	0.3	0.4	0.5	6.81

#ID Falla	Caracterización de Fallas Activas	Tipo	Long. (Km)	Salto Falla (mt)	Prof. (Km)	Rumbo	Buz.	Tasa de desplaz. (mm/año)			Mw Caracteristicas
								min	med	max	
5e	Falla Colonche	inversa	18.72	0.92	12	N120E	N	0.3	0.4	0.5	6.56
5f	Falla Colonche	inversa	11.63	0.75	16	N120E	N	0.3	0.4	0.5	6.32
5g	Falla Colonche	inversa	30.86	1.15	21	N120E	N	0.3	0.4	0.5	6.81
6	Falla Domito	normal	39.35	1.28	16	N10E	E	1	4	7	6.93
7	Falla Esperanza	normal	20.92	0.97	20	N40W	N	1	4	7	6.61
8	Falla Estero Salado	normal	98.79	1.92	12	NNE	80S	0.3	0.4	0.5	7.39
9	F. Golfo de Guayaquil	normal	24.39	1.04	26	N30E	S	1	4	7	6.69
10	Falla Jambelí	normal	29.55	1.13	12	N50E	90	0.1	0.1	0.1	6.79
11a	Falla Jipijapa	normal	45.96	1.37	12	N10E	40E	0.6	0.8	1	7.01
11b	Falla Jipijapa	normal	9.52	0.68	10	N20E	40E	0.6	0.8	1	6.22
12a	Falla La Cruz	normal	16.46	0.87	16	N40W	45S	0.1	0.2	0.3	6.49
12b	Falla La Cruz	normal	27.02	1.08	10	N40W	45S	0.1	0.2	0.3	6.74
12c	Falla La Cruz	normal	17.6	0.9	10	N40W	45S	0.1	0.2	0.3	6.52
12d	Falla La Cruz	normal	3.48	0.44	10	N40W	45S	0.1	0.2	0.3	5.71
13	Falla Las Delicias	normal	17.25	0.89	26	N10E	40E	0.6	0.8	1	6.51
14	Falla Pallatanga	dextral	57.15	1.51	12	NNE	90	3	5	7	7.12
15	Falla Posorja	normal	59.48	1.54	17	N50E	S	1	4	7	7.14
16	Falla Puná	dextral	50.02	1.42	10	NE	90	3	5	7	7.05
17	Falla Punta Salinas	dextral	16.85	0.88	18	N40E	90	0.1	0.1	0.1	6.5
18a	Falla San Jacinto	normal	8.87	0.66	33	N60W	S	0.1	0.1	0.1	6.18
18b	Falla San Jacinto	normal	2.4	0.37	10	N20W	S	0.1	0.1	0.1	5.52
18c	Falla San Jacinto	dextral	2.43	0.37	10	N20W	S	0.1	0.1	0.1	5.53
19a	Falla Santa Clara	dextral	23.17	1.01	18	NE	90	3	5	7	6.66
19b	Falla Santa Clara	dextral	17.62	0.9	18	NE	90	3	5	7	6.53
20	Falla Tenguel	normal	20.01	0.95	12	N30W	N	1	4	7	6.59
21a	F. Zambapala-Lechuza	dextral	9.45	0.68	25	NE	90	3	5	7	6.21
21b	F. Zambapala-Lechuza	dextral	10.72	0.72	25	NE	90	3	5	7	6.28
21c	F. Zambapala-Lechuza	dextral	2.17	0.35	25	NE	90	3	5	7	5.47
21d	F. Zambapala-Lechuza	dextral	4.84	0.51	25	NE	90	3	5	7	5.87
21e	F. Zambapala-Lechuza	dextral	9.48	0.68	25	NE	90	3	5	7	6.21
21f	F. Zambapala-Lechuza	dextral	20.73	0.96	12	NE	90	3	5	7	6.61

Debido a sus características estructurales asociadas a diferentes ambientes tectónicos, se han divido las fallas geológicas en tres grupos:

(1) sistemas de fallas Pallatanga, Puná, Zambapala – Lechuza y Santa Clara, son asociadas a un ambiente tectónico de desplazamiento lateral dextral y sinestral, Mega Falla Dolores

Guayaquil. Este sistema de fallas corticales acomoda el Bloque continental NorAndino. Las fallas Chanduy y La Cruz, asociada a un ambiente tectónico distensivo, con las fallas anteriormente mencionada, sea probablemente responsable de la abertura del Golfo de Guayaquil. (2) sistemas de fallas Colonche son estructuralmente asociadas a un ambiente tectónico compresivo con predominio de fallas inversa de bajo ángulo, que en superficie son caracterizadas por una cadena de pequeñas elevaciones que contrasta con las llanuras estuarinas de la parte baja de la Cuenca del Río Guayas; los sitemas de las fallas distensivas Carrizal, Las Delicias, San Jacinto y la Jipijapa son también continuaciones de la cadena montuosa Chongón - Colonche. (3) La cuenca del Progreso está asociada al sur por la distensión de las fallas Chanduy y La Cruz; probablemente existan otras fallas ocultas, conocidas también como "blind faults". Eguez et al. (2003), Wintt et al. (2005), Dumont et al. (2005) proporcionan importante información sobre fallas activas cuaternarias.

La magnitud característica que puede generar cada falla activa o capaz fue calculada usando la relación empírica de regresión de magnitud-terremoto-ruptura-salto fallatipo falla, propuesta por Well & Coppersmith (1994).

Para las fallas activas y capaces individualizadas en este estudio, se determinó el desplazamiento total o salto de falla que necesita una estructura sismogénetica para generar una especifica magnitud (Mw) (ver, Tabla 1).

A continuación se detalla las características estructurales de 44 fallas segmentadas pertenecientes a 21 estructuras sismogenéticas:

2.9.1.1 Zona de Fallas Pallatanga – Puná – Zambapala - Santa Clara.

Son expresiones locales del alineamiento regional de la falla dextral Guayaquil- Dolores-Romeral (GDR) que parte en el Golfo de Guayaquil con dirección NE y entra a la cordillera Occidental del Ecuador con la falla Pallatanga y luego continua bordeando a la cordillera Occidental con dirección NNE hasta encontrarse con la falla Dolores- Romeral de Colombia constituyendo un límite de una microplaca cuya característica principal es la de tener un basamento oceánico acrecionado entre el Eoceno y el Oligoceno.

Las únicas mediciones conocidas de estas fallas en base a los desplazamientos determinados mediante análisis geomorfológicos son las de Winter y Lavenu (1993) en la falla Pallatanga y Dumont et al (2005) en la falla Zambapala. Winter y Lavenu (1993) establecen un desplazamiento de 2.9 a 4.6 mm/año para la falla Pallatanga, mientras que Dumont indica un desplazamiento medio de 5 a 7 mm/año para la falla Zambapala según mediciones realizadas en el Pleistoceno.

De acuerdo a Gutscher et al (1999) una medición realizada también por los franceses cerca de la frontera colombiana en la falla Río Chingual-La Sofía (Ego et al, 1996) que forma parte del sistema GDR indica una tasa de 7 mm/año. Según Gutscher, si varias de estas fallas actúan al mismo tiempo la tasa de movimiento de la placa NA podría ser tan alta como 2 cm/año. De acuerdo a varios autores (Schubert, 1980; Aggarwal et al, 1983) las tasas de desplazamiento en el extremo Norte de la falla GDR o GCM (Guayaquil-Caracas Megashear) fluctúan entre los 8 y 10 mm/año.

Por lo expuesto los rangos de la falla Pallatanga serían:

El valor medio de 5 mm/año igual al máximo observado en la misma falla. El valor máximo probable es igual al máximo observado en el sistema de Zambapala de 7 mm/año o para considerar la incertidumbre, como umbral superior, se considera en los cálculos de peligro sísmico asumir un valor de 8 mm/año que es el valor mínimo observado en los segmentos de la GDR en la costa Caribe y el valor mínimo del rango adoptamos el de 3 mm/año observado en la propia falla Pallatanga.

Los rangos de la falla Zambapala tienen un valor medio de 6 mm/año, un valor máximo probable de 7 mm/año y un valor mínimo de 5 mm/año. Este mismo rango se podría adoptar para las otras fallas del sistema GDR cercanas a la falla Zambapala tales como las fallas Santa Clara y Puná ya que en ellas no se tiene ningún dato.

El sistema de fallas Jipijapa es de rumbo dextral y separa a los levantamientos costaneros o cordillera costera de la cuenca de Manabí. El levantamiento costanero está conformado por rocas del Cretáceo con una cobertura poco potente del Eoceno y Mioceno y localmente del Cuaternario marino llamado Tablazo. La cuenca Manabí fue una zona muy subsidente durante el Mioceno. Todo el conjunto comenzó a elevarse durante el Plioceno por efecto de la subducción de la cordillera submarina de Carnegie.

La falla Jipijapa tiene un rumbo de N10ºE a N20ºE y un buzamiento de 40º hacia el Este; su gran actividad se manifiesta por múltiples sismos cuyos epicentros se ubican en una franja N-S de unos 10 km de ancho localizada al Este de la traza de la falla en superficie. Otras fallas de rumbo N que se encuentran más hacia el Sur del extremo meridional de la falla Jipijapa son las fallas San Vicente y Las Delicias pueden ser consideradas con las mismas características dinámicas que la falla Jipijapa. Estas dos fallas fueron tomadas de los mapas geológicos del Ecuador y corresponden a lineamientos considerados segmentos de fallas activas por Egüez et al (2003) pero que en el detalle no se ubicaban geográficamente en forma mas precisa.

No hay estudios de campo sobre la tasa de desplazamiento de este sistema de fallas. La única medida de desplazamiento de estas fallas es la terminación abrupta de las estructuras formadas por el sistema de fallas Chongón-Colonche a la longitud de la población de Colonche con desplazamientos de rumbo dextral que totalizan unos 20 km. Si asumimos que estos desplazamientos son causados por el sistema de fallas Jipijapa-San Vicente-Las Delicias durante el Cuaternario (2 Ma) nos daría un valor de 1 mm/año como tasa de desplazamiento máximo ya que la tasa sería menor si el desplazamiento comenzó en tiempos anteriores al Cuaternario. Entonces los valores que adoptamos para estas fallas son: valor máximo 1 mm/año; valor medio 0.8 mm/año; valor mínimo 0.6 mm/año.

Las fallas Carrizal y La Cruz limitan por el Norte y por el Sur a la zona subsidente de la Cuenca Progreso. Esta cuenca funcionó durante el Mioceno y parcialmente durante el Plioceno época en que comenzó a sentirse el levantamiento de la cordillera costanera paralizando la sedimentación activa en la Cuenca Progreso e incrementando el hundimiento regional costa adentro en la zona del Graben de Jambelí. Ambas fallas han funcionado como fallas normales la falla Carrizal buzando hacia el Sur 45º y la falla La Cruz buzando 45º hacia el Norte; algunas estructuras pseudo-anticlinales como el alto de Santo Domingo parecen indicar que la falla La Cruz tuvo en algún momento comportamiento de falla de rumbo sinestral.

Tampoco existen para estas fallas datos sobre las tasas de movimiento por lo que se hizo un cálculo basado en las tasas de sedimentación observadas en los perfiles sísmicos que existen en Petroproducción Guayaquil interpretados por Goyes (1987). Se encontró que las tasas de sedimentación al Sur de la falla Carrizal al medir los espesores en rocas compactadas son: 0.6 mm/año durante la depositación de la formación areno-conglomerática Zapotal del Mioceno Basal; 0.25 mm/año durante la depositación de las formaciones arcillosas Dos Bocas-Villingota- Subibaja en el Mioceno Inferior; 0.2 mm/año para la formación Progreso del Mioceno Medio a Superior; no hay datos para el Plio-Cuaternario puesto que no hay más sedimentación.

Si se decompactan los sedimentos de la Cuenca Progreso en función de su litología se tienen las siguientes tasas verdaderas de sedimentación: Formación Zapotal con 0.8 mm/año, formación Dos Bocas-Villingota-Subibaja con 0.50 mm/año y 0.30 mm/año en la formación Progreso. Se sabe que las tasas de sedimentación son el resultado de sumar la tasa de subsidencia tectónica más la tasa de subsidencia por peso de los sedimentos, y se asumió que el valor de la tasa de subsidencia tectónica es equivalente al 80% de la tasa de sedimentación decompactada, entonces se obtuvieron las siguientes tasas de subsidencia tectónica: 0.64 mm/año para el Mioceno basal; 0.40 mm/año para el Mioceno Inferior; y 0.24 mm/año para el Mioceno superior- Plioceno.

Observando las tasas de subsidencia tectónica en la Cuenca Progreso se observa que se ha producido una disminución lenta desde el Mioceno Basal hasta el Plioceno y que la tendencia durante el Cuaternario será reducir su actividad, entonces se puede establecer que el valor de la subsidencia pliocena es el valor máximo probable para estas fallas durante el Holoceno. Se ha visto además en la recopilación de sismos que efectivamente la actividad de estas fallas en tiempos históricos está marcada con muy pocos sismos. Por lo tanto, se adoptaron los siguientes valores para ambas fallas Carrizal y La Cruz: valor máximo 0.3 mm/año; valor medio 0.2 mm/año y valor mínimo 0.1 mm/año.

2.9.1.2 Las fallas Posorja, Tenguel, Esperanza, Domito y Golfo de Guayaquil

Son fallas normales que se denominan en conjunto sistema del Golfo de Guayaquil y que han contribuido a formar una cuenca de sedimentación muy profunda durante el Plioceno-Cuaternario con tasas de sedimentación muy altas que solamente se encuentran en las fallas pull-apart relacionadas con segmentos en transtensión de fallas de rumbo, en este caso la megacizalla GDR, por lo que las fallas en cuestión pueden ser consideradas conjugadas de la megacizalla GDR. En este mismo caso se encuentra también la falla Jambelí situada más al Norte en el canal de Jambelí y que permite también la formación de una cuenca subsidente muy pequeña pero muy profunda.

El sistema de fallas normales Golfo de Guayaquil es de alto ángulo en los primeros 10 a 30 km de profundidad y más abajo se vuelven progresivamente más tendidas. Para calcular las tasas de subsidencia partimos de las tasas de sedimentación medidas en esta zona por Deniaud et al (1999) en cuyo cálculo ya se ha considerado el parámetro de decompatación según la litología predominante mediante el uso del software Genex. Las tasas de sedimentación calculadas en base a una gran cantidad de datos bio-estratigráficos son de 4.5 mm/año en el Holoceno, mientras que en el Pleistoceno Superior los valores fueron mucho más bajos de 0.7 a 1.4 mm/año y en el Pleistoceno inferior en cambio las tasas fueron mucho más altas de 8.6 mm/año.

Asumiendo al igual que en la falla Carrizal que el 80% de la tasa de sedimentación corresponde a la tasa de subsidencia tectónica, se tienen los siguientes valores para las fallas del sistema Golfo de Guayaquil: Holoceno 3.6 mm/año; Pleistoceno Superior valor medio aproximado de 1 mm/año y Pleistoceno Inferior 7 mm/año. En base a los datos anteriores se adoptan los siguientes valores de tasas de desplazamiento para las fallas del sistema Golfo de Guayaquil: Valor máximo 7 mm/año; valor medio 4 mm/año y valor mínimo 1 mm/año.

2.9.1.3 Las fallas del sistema Chongón-Colonche

Son paralelas a la estructura tectónica conocida como Cordillera Chongón-Colonche (CCC) de rumbo general N120ºE. Varias de estas fallas han sido vistas en los afloramientos de alrededor de la ciudad de Guayaquil donde se conoce que son fallas de rumbo sinestral, subverticales con tendencia a tener altos buzamientos hacia el Norte. Una prolongación hacia el SE de la falla Cascol paralela al sistema de fallas Chongón-Colonche tiene algunas evidencias morfológicas de actividad cuaternaria y en el catálogo de sismos que se ha recopilado aparece una gran concentración de epicentros entre estas dos fallas entre la ciudad de Guayaquil y la población de Cascol, por lo que se ha incluido a la falla Cascol en la lista de fallas activas al contrario de Egüez (2003) que no la considera activa.

No existe ningún dato sobre las tasas de movimiento de las fallas del sistema Chongón-Colonche, podría ser que su actividad sea muy reciente, por lo que no se observan rasgos geológicos que permitan adelantar hipótesis para dar una tasa aproximada. Sin embargo si se considera que este sistema de fallas de dirección aproximada NO-SE es antitético o conjugado con el sistema de fallas dextral de la megacizalla GDR que posibilita el movimiento del Bloque Norandino hacia el NE, el movimiento en sentido ortogonal -esto es a través de las fallas del sistema CCC-apenas son movimientos de liberación de esfuerzos que permiten en general cierta rotación de los microbloques de la Costa y por lo tanto las tasas de movimiento deben ser mucho menores y más posiblemente cercanas a las de las fallas Carrizal-La Cruz.

Una forma de calcular la tasa de movimiento de estas fallas es considerando el desplazamiento supuesto a lo largo de la falla Bahía que se encuentra más hacia el Norte del área de estudio pero que tiene la misma dirección y el mismo movimiento sinestral en base a un desplazamiento máximo de unos 10 km atribuible al Cuaternario rompiendo la continuidad morfológica del eje de la cordillera costanera, dando en este caso una tasa de desplazamiento de 0.5 mm/año.

Por otro lado si se toma en cuenta que el sistema de fallas CCC tiene un parentesco con las fallas Carrizal-La Cruz porque ambos sistemas son conjugados o antitéticos con el sistema GDR y se podría asumir un movimiento del mismo orden. A favor de esta comparación está el sistema de fallas normales Golfo de Guayaquil que teniendo vínculos genéticos directos con el sistema de fallas GDR, presenta tasas de subsidencia tectónica similares a las tasas de movimiento de rumbo.

Con estas consideraciones se puede adoptar como valor máximo de la tasa de movimiento el cálculo asumido en base al desplazamiento del eje de cordillera por efecto de la falla Bahía, o sea 0.5 mm/año, mientras que como valor mínimo se puede tomar el valor de 0.3 mm/año adoptado para la falla Carrizal y como valor medio el de 0.4 mm/año.

2.9.1.4 La falla Estero Salado

Es una falla activa que se manifiesta con múltiples sismos alineados NNE que se correlacionan con una alineación morfológica -que resalta en cualquier mapa topográfico- del Estero Salado (el canal mayor) con el río Babahoyo, coincidiendo con la terminación oriental de las estructuras CCC un poco más al Este de la población de Durán. Más hacia el Este de este alineamiento afloran rocas metamórficas en los cerros de Taura conformando un horst o levantamiento tectónico que continúa hacia el Este hasta la megacizalla GDR. La falla Estero Salado tiene su terminación meridional a medio camino entre Guayaquil y Posorja donde es cortada por el sistema de fallas Carrizal-La Cruz.

El carácter de esta falla entonces es el de una falla originalmente normal de alto ángulo con buzamiento hacia el Oeste; sin embargo el movimiento de esta falla es complejo pues en los alrededores de Guayaquil se encuentran claras evidencias morfológicas de que esta falla ha tenido un movimiento de rumbo sinestral afectando a la dirección de la CCC que en este sector toma una dirección marcadamente E-O. Incluso esta falla podría haber sido parte de la familia de fallas GDR que invirtió posteriormente su movimiento para acomodar los movimientos de rotación de los micro-bloques de la Costa.

Las tasas de movimiento de esta falla son desconocidos pero para los movimientos sinestrales que producen el cambio de dirección de la falla Colonche al inicio de la CCC y asumiendo que se han producido durante el Cuaternario, se puede medir un desplazamiento acumulado en varias componentes de la falla Estero Salado en un total de unos 8 km, dando una tasa de desplazamiento de 0.4 mm/año. A partir de este valor adoptamos las siguientes tasas de movimiento sinestral: valor máximo 0.5 mm/año; valor medio 0.4 mm/año y valor mínimo 0.3 mm/año.

2.9.2 Diaclasas

El macizo rocoso de las formaciones Cayo y Guayaquil se encuentra completamente fracturado, encontrándose familias de diaclasas que fueron medidas e interpretadas con la ayuda de la red estereográfica de Schmidt.

El carácter y la frecuencia de las diaclasas varían de acuerdo a la litología. En las lutitas las diaclasas son mucho más frecuentes y presentan superficies planares y lisas; en las areniscas y brechas éstas son menos frecuentes y presentan superficies onduladas y rugosas.

2.9.3 Pliegues

Se observan muchos pliegues del orden métrico, especialmente en las rocas de la formación Guayaquil. El origen de tales pliegues ha sido objeto de muchas hipótesis, aunque ninguna ha sido concluyente. Berrones (1978) encuentra que la dirección promedio de pliegues (30 mediciones en varios sitios) es N60-70, pero asume que son de origen gravitacional sinsedimentario. Alvarado (1989, tesis sobre Durán, proyecto IIEA-CONUEP), con una veintena de mediciones encuentra que los pliegues en los cerros de Durán tienen direcciones comprendidas entre N52 y N62, valor cercano al obtenido por Berrones (1978).

Benitez, 2005 reporta innumerables mediciones de pliegues de dirección NE-SO en el barrio San Pedro y en el sector de la entrada al basurero municipal. En algunos casos estos pliegues están asociados a fallas de la misma dirección NE - SO.

No se descarta la hipótesis de que algunos pliegues tengan un origen tectónico gravitacional por efectos del plegamiento general de la cordillera Chongón-Colonche durante las fases tempranas de la diagénesis en la que los sedimentos silíceos de la formación Guayaquil debieron presentar una alta plasticidad.

2.9.4 Zona Megathrust de Subducción

Para comprender la distribución espacial de los sismos y su asociación a mega estructuras sismogenéticas como la zona de subducción, se elaboraron tres modelos de subducción en la región litoral y andina ecuatoriana. Para la zona de subducción de Sudamérica, una investigación similar ha sido efectuada por Gutscher et al. (1999). En la Figura 14, se delimitan en superficie los segmentos Norte (área, 34.829 Km2), Centro (área, 41.324 Km2) y Sur (área, 33.851 Km2). Cada megathrust es caracterizado como un plano de falla con inmersión (buzamiento estructural) entre 4 a 5°; a los 40 Km de profundidad, un cambio de inmersión, indica el inicio de la zona del intraslab, con variación en el plano de inclinación de 10° a 15°. Las magnitudes máximas (expresadas en Mw) para cada segmento se demuestran en la Tabla 2. La longitud del megathrust en el segmento Norte es de 84 Km, segmento Centro 103 Km y segmento Sur 86 Km.

Tabla 2. Zona Megathrust - Subducción Fosa Ecuatoriana

Segmento	Latitud	Longitud del Segmento (Km)	Inmersión Estructural	Magnitud máxima (Mw)	Terromotos Históricos	Tasa de Deslizamiento (mm/año)
Norte	-0.95; -1.74	84	5°	9	1906 (M 8.8) 1942 (M 7.6) 1958 (M 7.7) 1979 (M 8.2)	68 ± 10
Centro	-1.74; -2.58	103	4°	9	1901 (M 7.8) 1942 (M 8.3)	
Sur	-2.59; -3.38	86	5°	8.8	1901 (M 7.8) 1970 (M 7.6)	

Los sismos con foco superficial (≥0.1≤35 Km) se presentan con mayor concentración en el Modelo Norte, entre la fosa oceánica y la línea de costa, siendo estos posiblemente asociados al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana a profundidades menores a 35 km, y a una elevada tasa de compresión provocada por la cordillera de Carnigie. En el interior del continente, también existe presencia de sismos superficiales y estos se distribuyen en los tres modelos propuestos, en las planicies de la cuenca baja del Guayas, a lo largo de la zona subandina y en las altas cordilleras de los Andes asociadas a las deformaciones superficiales con la presencia de importantes sistemas de fallas activas.

En base a la información histórica y con la geometría probable de la zona de subducción en el megathrust se estimaron con el modelo Wells y Coppersmith (1994) los valores de la magnitud característica. En el Modelo Norte, la magnitud máxima que puede generar un terremoto es de M 8.8 a 9, relacionándolo también con la ruptura de cerca de 500 Km, que fue la estructura sismogenética que generó el terremoto de M 8.8 en Esmeraldas, el 31 de enero de 1906; subsecuentes otras reactivaciones fueron reportadas en 1942, 1958 y 1979 (Mw≥7.7).

En el segmento del Modelo Centro, la máxima M estimada es de M 8.8 a 9, el sismo más reciente con efecto local aconteció en 1933 con M 7.1.

Los valores de máximas magnitudes esperadas en el segmento megathrust del Modelo Sur, son inferiores a los determinados en los segmentos Norte y Centro; las máximas M de 8.3 a 8.8 son asumidas en este modelo del megathrust.

Una tasa de desplazamiento de 60 a 79 mm/año es asignada a cada segmento basado sobre la tasa de convergencia estimada. Para las zonas de subducción en el megathrust se analizaron los catálogos sísmicos y se corrigió el mismo por completez, estimando luego el valor b-value para el modelo norte y sur con valores de 0.20 a 0.21.

3 ACTUALIZACIÓN DEL MAPA GEOLÓGICO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

3.1 UBICACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO

Durante la elaboración de este proyecto, se realizó una campaña geología geotécnica en la zona noroeste de la ciudad, con motivos de la actualización del mapa Geológico, mediante exploración geológica y geofísica. En esta sección, el área de estudio (señalada en el recuadro rojo de la Figura 15) abarca los Sectores de Pascuales, Monte Sinaí y Bastión Popular.

De acuerdo a Benitez et al. (2005) el área de estudio está compuesto litológicamente por depósitos aluvio lacustres y la Formación Cayo (Figura 8 y 9).

3.2 RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN

Para la actualización del Mapa Geológico de Guayaquil, se tomó como base la información generada en el proyecto "Investigación y Estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil" (Vera Grunauer et al., 2005) la cual fue generada a través de herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica). Los mapas utilizados fueron el Mapa Geológico (Benitez et al., 2005; Vera Grunauer et al., 2005) y el Mapa de Isoperíodos elásticos (Vera Grunauer et al., 2005), ambos de la Ciudad de Guayaquil. Como se menciona en Vera et al., (2005) esta información fue elaborada con datos recopilados en campo, ensayos en laboratorios, recopilación de información de proyectos anteriores, perforaciones, entre otras. Adicionalmente, se recopiló la siguiente información generada en particular para el área en estudio.

- Hojas Topográficas de Guayaquil Norte (NV-A1c, 3687-IV-SW) y Monte Sinaí (MV-B2d, 3587 I SE) a escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Militar (IGM).

- 15 Análisis Multicanal de ondas superficiales, MASW (mostrados en la Tabla 3).

- Mapa de Hidrogeológico MAGAP 2003

Tabla 3. MASW ubicados en el Sector de Bastión Popular, con la profundidades y Vs de los suelos encontrados

MASW	Profundidad de suelo (m)	Vs
MASW 1	2.00 – 6.00	350 – 310
MASW 2	0.00 – 8.50	185 - 310
MASW 3	Semiroca	
MASW 4	Semiroca	
MASW 5	Roca	
MASW 6	0.00 – 5.50	160 – 310
MASW 7	3.00 – 4.5	320 – 350
MASW 8	2.50 – 6.50	270 – 330
MASW 9	Roca	
MASW 10	0.00 – 10.0	190 – 255
MASW 11	Roca	
MASW 12	Semiroca	
MASW 13	Semiroca	
MASW 14	Semiroca	
MASW 15	Roca	

3.3 METODOLOGÍA

3.3.1 Generación del mapa de elevación

Para determinar el mapa de elevación se consideraron las curvas de nivel recopiladas a escala 1:25.000 del IGM, para esto se depuró la información de elevación para evitar el traslape de polílineas (shapefile) y la repetición de datos, con herramientas de Topology en un SIG.

Una vez realizada esta operación, se utilizaron las curvas de nivel con intervalos cada 10 m. Se generó el TIN (Red de Triangulación Irregular), que es una modelo cuantitativo en formato digital de la superficie de la tierra, que contiene información de posición X, Y y Z (elevación). Esto consiste básicamente en una interpolación de los datos de elevación para generar del relieve del sector. El TIN fue reclasificado en 12 clases distintas con la opción de intervalos que reflejen más adecuadamente las condiciones de relieve, dando como resultado elevaciones entre 0 a 460 metros.

En la Figura 16 se muestra el relieve topográfico del sector de Bastión Popular, incluyendo los 15 MASW realizadas en el sector.

3.3.2 Generación del mapa de pendientes

Para la realización del mapa de pendientes se tomó como base el modelo de Red Triangulación Irregular (TIN), y a través de la herramienta Slope del Software ARCGIS 10.1 se generó el mapa de pendientes que se lo clasifico en 5 rangos (Figura 17)

3.3.3 Generación del mapa geomorfológico

Para la realización del mapa Geomorfológico y obtención de una clasificación geotécnica de los tipos de geomateriales de acuerdo a su inclinación o pendiente del terreno, se utilizó como base el mapa de pendientes, creando dos campos: las geoformas y la caracterización geotécnica, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de Pendientes

Clasificacion de pendientes		
Grados	Geoformas	Caracterizacion Geotecnica
0 – 2°	Planicie	Suelos
2 – 4°	Pendiente Inclinada	Semiroca
8 – 16°	Moderadamente escarpado	Semiroca
16 – 35°	Escarpado	Roca
35 – 55°	Muy Escarpado	Roca

Se convirtió a Shapefile el modelo de pendientes de la Figura 17 y se calibró la información de los relieves de las alturas y profundidades de los mismos para generar el mapa de geoformas (Figura 18).

3.3.4 Generación del mapa geológico

Una vez generado el mapa de pendientes y geoformas (Figura 17 y 18) se procedió a la ubicación en planta de los 15 MASW (Figura 19) En la Figura 20 se muestra a manera de ejemplo el trazado del perfil desde el MASW2 al MASW4.

De esta manera se interpretaron los 15 MASW mencionados para la determinación de los límites de tipo de suelos (suelos blandos, suelos rígidos, semiroca y roca) que hay en el sector y así modificar los depósitos lacustres aluviales superficiales sobre la roca de la formación Cayo (D5).

Para diferenciar los materiales lacustres de las formaciones rocosas, se utilizó la clasificación propuesta por la (NEC 2011) (Tabla 5), quien clasifica los suelos rígidos y semiroca como materiales con velocidad de onda cortante menor a 360 m/s.

Tabla 5. Caracterización Geotécnica de los materiales en función de las Vs

Caracterización geotécnica	Vs Velocidad de onda de corte [m/s]	Descripción litológica	Descripción geológica
Suelos blandos	130-180	Sedimentos de grano fino predominando limos y arcillas	Depósitos Lacustres
Suelos rígidos	180-360		
Semiroca	360-610	Lutitas negras. Lutitas tobáceas, silíceas; aglomerados, areniscas.	Formación Cayo
Roca meteorizada	610-1100		
Roca no meteorizada	1100-1750		

En base a los MASW 2, 5, 7, 8, 11 y 15 se modificaron los límites de los depósitos lacustres y Formación Cayo de la geología de la ciudad de Guayaquil, generada (Benitez et al., 2005). En los MASW 2 se encontraron suelos blandos y rígidos hasta los 8.50 metros. En el MASW 5 se detectó semiroca hasta 6 metros; en el MASW 7, semiroca hasta los 9 metros y en el MASW 8, suelos rígidos y semirocas hasta los 10 metros. En el MASW 11, se encuentró semiroca hasta los 11 metros y en el MASW 15 roca meteorizada hasta los 33 metros.

Los MASW 1, 3, 6, 9, 10, 13 Y 14 se ajustaron al modelo del mapa geológico de la ciudad de Guayaquil, por lo que no se modificaron los límites de dichas zonas. Unicamente se verificaron los tipos de suelos presentes en el sector que son Semiroca, Roca y Roca Fracturada.

En la Figura. 21 se muestra a manera de ejemplo los registros de los Análisis Multicanal de ondas superficiales MASW de los puntos 2 y 5 del sector de estudio.

Con la información analizada e interpretada de los 15 MASW, se modificó el mapa geológico geotécnico de los Depósitos aluvio lacustres de la roca de la Formación Cayo. Se tomaron las curvas de nivel menores a los 20 metros de elevación que se consideraron como geoformas de planicies formadas por depósitos lacustres pertenecientes a la simbología D5 en la zona Norte. (Figura 22).

Esta zona geotécnicamente se los considera suelos blandos y rígidos; y por encima de la cota 20 se la definió como semiroca, roca y roca fracturada según los grados de pendientes clasificadas.

En la Figura 23 se muestra el mapa geológico actualizado de los depósitos aluvio lacustres de la roca de la formación Cayo D5. El polígono demarcado con línea café son los depósitos aluvio lacustres obtenidos por Benítez et al., (2005) y el polígono con el relleno de líneas trazadas es el polígono obtenido mediante análisis de los datos de campo.

Como resultado de la metodología aplicada en el presente trabajo se generó el Mapa Geológico de la ciudad de Guayaquil mostrados en la Figura 24a y 24b con sus respectivas simbologías.

4 ACTUALIZACIÓN DEL MAPA GEOTÉCNICO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

Para la zona SO de la ciudad de Guayaquil, donde se encuentran los depósitos Deltaico Estuario D3 según el Mapa Geológico de Benitez et al. (2005), se realizó un análisis para la División de dichos depósitos, ayudándose de información del Mapa de Isoperíodos elásticos en segundos para la delimitación de las profundidades de los suelos con la siguiente clasificación (Figura 25). Y a su vez también para la delimitación de los Depósitos Deltaico-Estuarino D3, en que se realizó una división en D3A y D3B. Tomando los valores de isoperíodos elásticos <1.6 para los D3A y Períodos >1.6 para los D3B.

Como resultado de la metodología aplicada en el presente trabajo se generó el Mapa d actualización de los depósitos deltaicos estuarinos D3 de la ciudad de Guayaquil mostrados en la Figura 26a y 26b con sus respectivas simbologías.

5 REFERENCIAS

Alvarado F, 1989, *Geología en detalle de los cerros de Durán*, Tesis de Ing. Geólogo, ESPOL, Guayaquil.

Aggarwal, J. P., Soulas, J. P., & Garcia, D. (1983). *Contemporary tectonics of the Venezuelan Andes and northern Colombia*. In Geol. Conf., Cartagena-Colombia (pp. 16-17).

Benitez S (1975). *Morfología y sedimentos superficiales del Golfo de Guayaquil*. Masters Thesis. Escuela Superior Politécnica de Litoral, Ecuador.

Benítez S., 1990, Memoria Técnica: *Mapa geológico de las formaciones Cayo y Guayaquil en la ciudad de Guayaquil*, Informe del Proyecto de Investigación, IIEA-CONUEP, Fac. CC MM, Univ. de Guayaquil.

Benítez S., 1995, *Evolution Géodynamique de la Côte Équatorienne*, Tesis Doctoral de Geología, Universidad de Grenoble, Francia.

Benitez, S., Vera Grunauer, X , and Alvarez, V. (2005). Estudio Geologico de la ciudad de Guayaquil. *Informe final de Investigación y Estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y Microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil*. IIFIUC, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil: M.I. Municipio de la ciudad de Guayaquil.

Bristow R. (1975) The age of the Cayo formation, Ecuador. *Newsly Stratigraphy*, 4 (3)..

Consultora Vera y Asociados, 2002, *Estudio para el Viaducto de la Av. Machala*, M.I. Municipalidad de Guayaquil.

Deniaud, Y., Baby, P., Basile, C., Ordonez, M., Montenegro, G., and Mascle, G., 1999, Ouverture et evolution tectono-sedimentaire du golfe de Guayaquil; basin d'avant-arc neogene et quaternaire du Sud des Andes equatoriennes. Opening and tectonosedimentary evolution of the Gulf of Guayaquil; a Neogene and Quaternary fore-arc basin of the southern Ecuadorian Andes: Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Serie II. Sciences de la Terre et des Planetes, v. 328, p. 181-187.

Dumont, J.F., Santana, E., and Vilema, W., 2005a. Morphologic evidence of active motion of the Zambapala Fault, Gulf of Guayaquil (Ecuador): Geomorphology, v. 65, p. 223-239.

Dumont, J.F., Santana, E., Vilema, W., Pedoja, K., Ordonez, M., Cruz, M., Jimenez, N., and Zambrano, I., 2005b. *Morphological and microtectonic analysis of Quaternary deformation from Puna and Santa Clara Islands, Gulf of Guayaquil Ecuador (South America):* Tectonophysics, v. 399, p. 331-350.

Goyes Arroyo, P. (1987). *Seismic stratigraphy and structure of the Progreso Basin, Ecuador*. Master's thesis, Texas A&M University.

Gutscher, M.-A., Malavieille, J., Lallemand, S., Collot, J.-Y. (1999). *Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision*. Earth and Planetary Science Letters 168, 255-270.

Ego, F., Sébrier, M., Lavenu, A., Yepes, H., & Egues, A. (1996). *Quaternary state of stress in the Northern Andes and the restraining bend model for the Ecuadorian Andes*. Tectonophysics, 259(1), 101-116.

Eguez, A., Alvarado, A., Yepes, H., Machette, M.N., Costa, C.H., Dart, R.L., and Bradley, L.-A., 2003, *Database and map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions*: U.S. Geological Survey Open-File Report 03-289.

NEC (2011). *Norma Ecuatoriana de la Construcción, Capítulo 2, Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo Resistente*, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Convenio MIDUVI-Cámara de la Construcción de Quito.

Mejía J.(1992). *Corte estratigráfico de la formación Guayaquil en la vía Perimetral de Guayaquil: propuesta como nueva localidad tipo*. Master's Thesis, Universidad de Guayaquil, Ecuador

Mite, M. (1989). *Mapa geomorfológico de Guayaquil a escala 1:20.000*. Master's Thesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.

Sheppard, G (1946). *The geology of the Guayaquil estuary, Ecuador*. Journal of the Institute of Petroleum, Institute of Petroleum, London, United Kingdom (GBR), Vol.32, no.272, pp.492-514.

Schubert, C., (1980). *Late Cenozoic pull-apart basins, Bocono´ fault zone, Venezuelan Andes*. Journal of Structural Geology 2 (4), 463–468.

Thalman H. (1946). Micropaleontology of upper cretaceous and paleocene in Western Ecuador, *Bulletin of the AAP*.

Vera-Grunauer, X., Kayen, R., Tandazo Ortega, E., Ramírez Calderón, J., and Vera Grunauer, J.G. (2005). Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil. *Estudio Geotécnico Fase I y II*. Guayaquil: M.I. Municipalidad de Guayaquil, versión final.

Wells, D. L. and Coppersmith, K. J., 1994, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 84, p. 974-1002.

Winter, T.; Avouac, J.P.; Lavenu, A. (1993). Late Quaternary kinematics of the Pallatanga strike-slip fault (central Ecuador) from topographic measurements of displaced morphological features. Geophysical Journal International, vol.115, no.3, pp.905-920.

Witt, C., Bourgois, J., François, M., Ordoñez, M., Jiménez, N., and Sosson, M., 2005, Development of the Golfo de Guayaquil (Ecuador) as an effect of the North Andean Block tectonic escape since the lower Pleistocene, 6th Internation Symposium on Andean Geodynamics, Volume Extended Abstracts: Barcelona, Spain, p. 804-808

ANEXO TOMO 1.0:
ACTUALIZACIÓN DEL MAPA GEOLÓGICO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

-Figuras-

Realizado por:
GEOESTUDIOS S.A

Elaborado para:
SECRETARÍA DE GESTIÓN DE

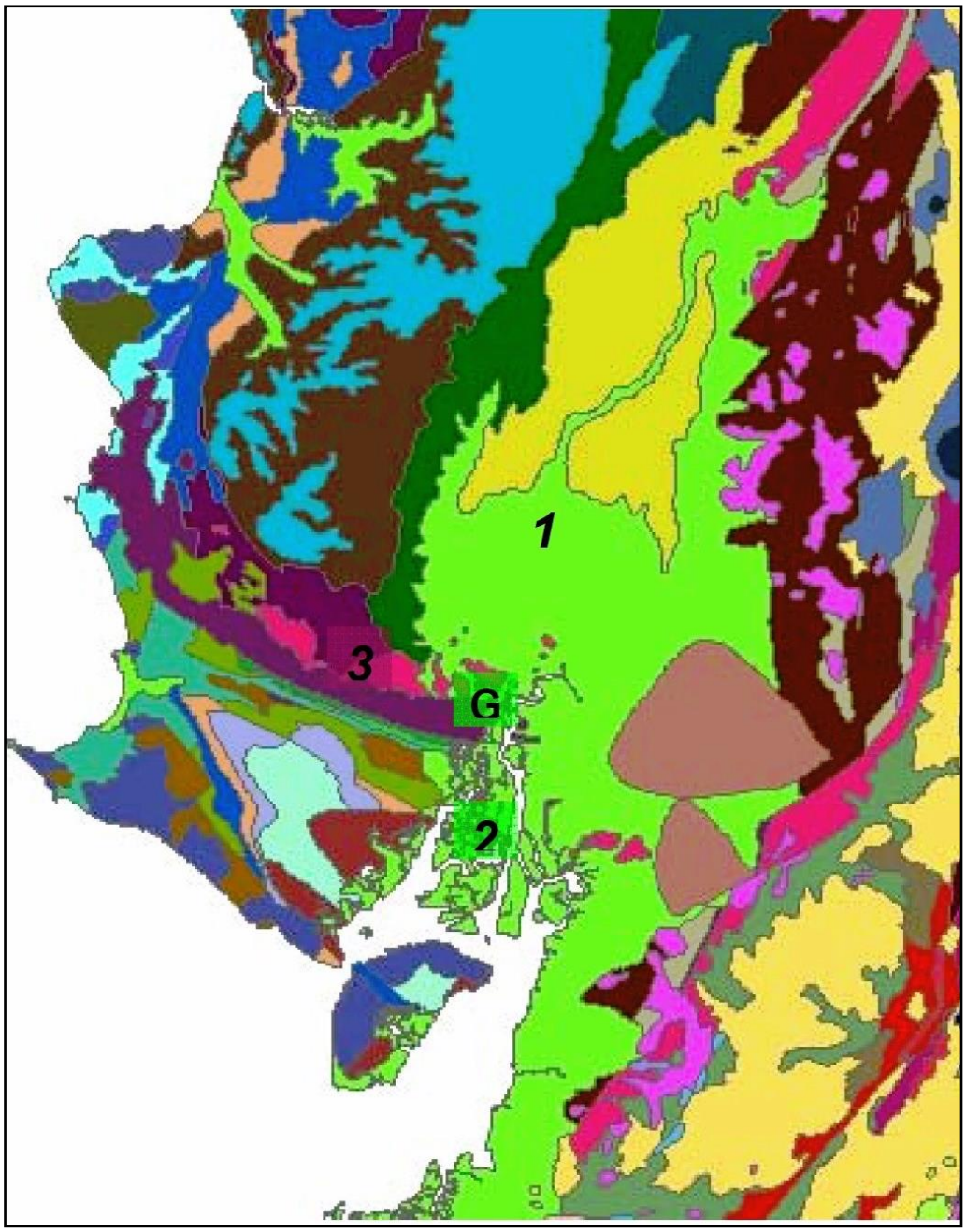


Figura 1. Macrodominios geomorfológicos de Guayaquil: (1) llanura aluvial ríos Daule y Babahoyo; (2) llano estuarino-deltaico de la ría Guayas; (3) Cordillera Chongón- Colonche; G= Guayaquil. (Benitez et al., 2005).

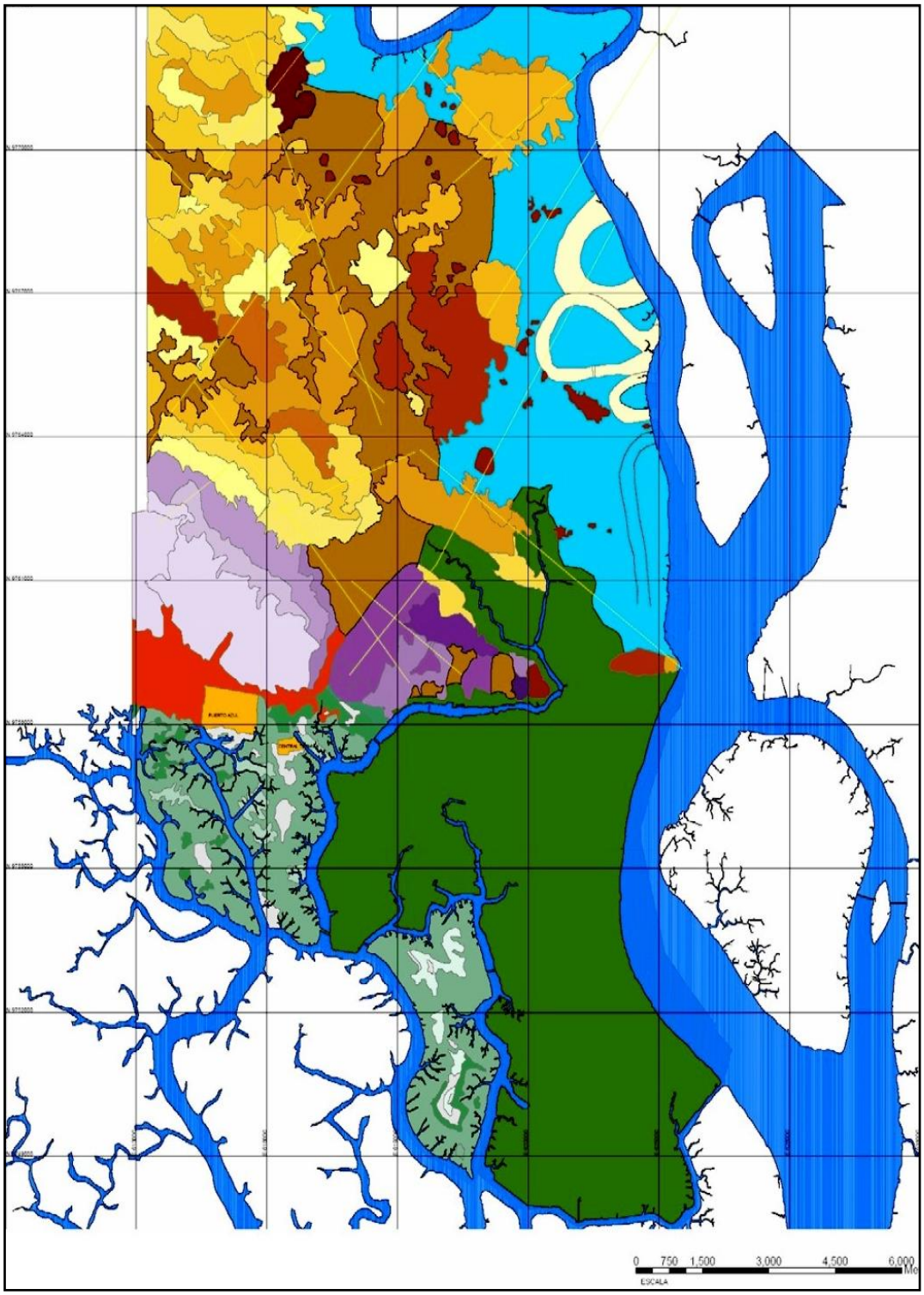


Figura 2. Mapa geomorfológico de la ciudad de Guayaquil y sus alrededores (Mite, 1989).

DOMINIO ESTRUCTURAL(S): Comprende las inidades geomorfológicas de mayor magnitud originadas por fenómenos estructurales.

DENOMINACION	SIMBOLO	CARACTERISTICAS	REPRESENTACION
COLINAS ALTAS (200 - 400 msnm)	SCv5a4	Paisaje con relieve de chevrones, vertientes cóncavas y alargadas en unidad calcárea San Eduardo, pendientes medias a muy fuertes, capas, buzando al SO, drenaje subparalelo, interfluvios medios.	
	SCx6a5	Paisaje con planos facetados, tipo chevrones, vertientes convexas, cimas agudas alargadas, característico de la disposición estatigráfica de la Fm. Guayaquil.	
	SCx5r4	Relieve modelado en rocas de la Fm. Cayo, vertientes convexas, cimas redondeadas y alargadas. Las colinas estan expuestas, y están siendo fuertemente erosionadas, drenaje subparalelo, poco denso.	
COLINAS MEDIAS (100 - 200 msnm)	SCrAtB	Paisajes de colinas redondeadas y alargadas, vertientes rectilineas, compuestas de capas potentes de lutitas, limolitas y grauvacas alternantes, con un rumbo general de 105° Az. y buzamiento de 18° hacia el SO, drenaje subparalelo.	
	SCvArB	Paisaje de colinas redondeadas, vertientes cóncavas, formadas en la Fm. Guayaquil, que está compuesta de capas centimétricas a decimétricas de lutitas silicificadas, alternantes con chert y arenisca, con rumbo general de 70° Az. y buzamiento cambiante, entre 18° y 30° hacia el sur, drenaje subparalelo poco denso.	
	SCe5a3	Relieve modelado por areniscas silíceas y grauvacas, vertientes mixtas, cimas agudas y alargadas, drenje subparalelo poco denso.	
	SCr3a7	Relieve en avanzado proceso de destrucción, vertientes rectilíneas cimas alargadas, la unidad está compuesta de areniscas silificadas y presenta planos de diaclasas.	
DOMINIO EROSIVO(E): Comprende unidades geomorfológicas donde predominan los procesos erosivos, sobre otros procesos morfogenéticos.			
COLINAS BAJAS (0 - 100 msnm)	ECrApB	Relieve rectilíneo cima plana, superficies onduladas, presencia de conos de deyección, drenaje subparalelo.	
	ECvAaB	Relieve modelado en arenisca silicificada de la Fm. Cayo, vertientes cóncavas, cimas agudas, drenaje dendrítico.	
	ECrAaB	Relieve erosionado, sobre estratificación de areniscas y lutitas de la Fm. Cayo, forma un paisaje colinado, vertientes rectilíneas y cimas agudas y redondeadas, drenaje dendrítico muy denso.	
	ECrAtB	Paisaje peneplanizado, vertientes rectilíneas y cimas redondeadas, formadas por una alternancia de rocas sedimentarias. Característico de la Fm. Cayo, drenaje dendrítico denso.	
	ECxAtB	Paisaje colinado fuertemente meteorizado, vertientes convexas, cimas redondeadas y alargadas, compuesto de arniscas silíceas. Ubicándose en el cerro Colorado (Pascuales), sobre cuerpos extrusivos, drenajes dendrítico poco denso.	
	ECvAtB	Relieve erosionado, vertientes cóncavas y cimas redondeadas, presenta una alternativa de grauvacas tobáceas blanca, poco consolidadas, areniscas tobáceas calcáreas y lutitas calcáreas, así mismo en Lomas del Jordán esta litología sobreyace sobre extrusivos, drenaje dendrítico poco denso.	
	ECxAaB	Relieve colinado erosionado, vertientes convexas, cimas agudas y alargadas compuesta por la Fm. Cayo, drenajes dendrítico denso.	
	ECcAtB	Paisaje colinado de vertientes mixtas, cimas redondeadas y alargadas, relieve meteorizado y fracturado, predomina arenisca calcárea, drenaje dendrítico poco denso.	
	ECxAr	Relieve en avanzado proceso de destrucción, sobre estratificación de areniscas calcáreas y lutitas de la Fm. Cayo, forma un paisaje de vertientes convexas y cimas redondeadas. Son pequeñas unidades morfológicas remanentes en la zona plana.	

DOMINIO ACUMULATIVO(A): Comprende las formas originadas por la acumulación de mariales erosionados

DENOMINACION	SIMBOLO	CARACTERISTICAS	REPRESENTACION
DEPOSITOS COLUVIALES	C	Depósitos cuaternarios, donde hay acumulación de gravas, arenas y arcillas producidas al pie de algunos cerros, por caída gravitacional y agua, poseen drenaje interno.	
DEPOSITOS ALUVIALES	a	Depósitos cuaternarios recientes, localizados en las áreas de influencia de los ríos, compuestos de gravas, limos y arenas, depositadas durante las avenidas excepcionales.	
		Depósitos de pie de monte	
BANCOS RECIENTES	ABr	Son depósitos fluviales localizados en los márgenes de los ríos, modelados sobre aportes limo-arenosos no consolidados, acumulados durante las maximas crecidas.	
LLANURAS DE INUNDACION PARCIAL	Zpi	Se encuentra localizada en la parte baja de llanura aluvial cuaternaria constituida de limos arcillosos. Inundado parcialmente por las avenidas temporales	
MEANDROS ABANDONADOS	M.A.	Formados por cauces fluviales antiguos en la planicie de la Cuenca baja del Guayas	
DEPOSITOS ESTUARINOS	M1	Areas con árboles de manglares altos, bosque homogéneo dominante	
	M2	La altura de los árboles de manglares medios fluctúa entre 5 a 15 m. densidad de copas homogeneas.	
	M3	Arboles de poca altura, densidad de copas heterógeneas y variables en su distribución	
	B	Area cubierta de vegetación árborea, contiguas a las áreas de manglar.	
	m	Ubicadas alrededores de áreas salinas, comprende vegetación arbustiva y de poca altura.	
AREAS SALINAS	S	Area de acumulación, de composición limo-arcilloso con alto contenido de sales.	
FORMAS ANTROPICAS	CA	Antiguas áreas salinas, limos arcillosos e impermeables, actualmente dedicadas a la acuacultura del camarón.	

GENERAL

SIMBOLOGIA

- 1a — Centros urbanos
- Límites confirmados de subpaisaje geomorfológico
- Límites confirmados de unidades geomorfológicas

PROCESOS MORFODINAMICOS

- Meandros Abandonados
- Antiguo cauce fluvial.

RASGOS ESPECIALES.

- Lineamientos.

.**Figura 3.** Simbología del Mapa Geomorfológico de la ciudad de Guayaquil y sus alrededores.

Horizonte	Potencia		Descripción
A	20 - 100 cm		suelo arcilloso-orgánico negro
B	50 - 100 cm		suelo arcillo-limo-arenoso café rojizo
C	10 - 15 m		roca meteorizada color café amarillosa

Figura 4. Perfil típico de suelos residuales de la formación Cayo. Norte de Guayaquil.

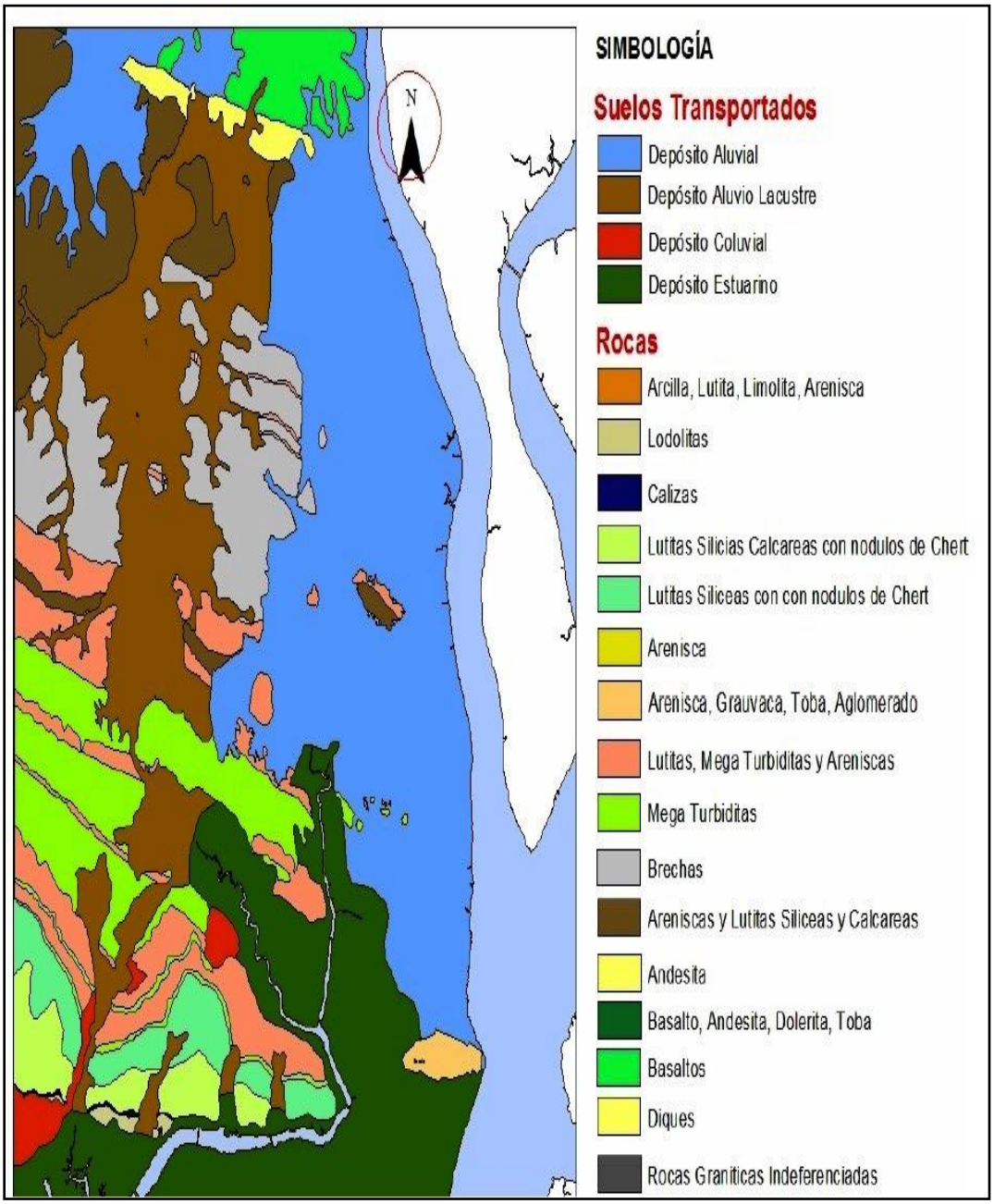


Figura 5. Mapa de suelos y rocas de Guayaquil N-O.

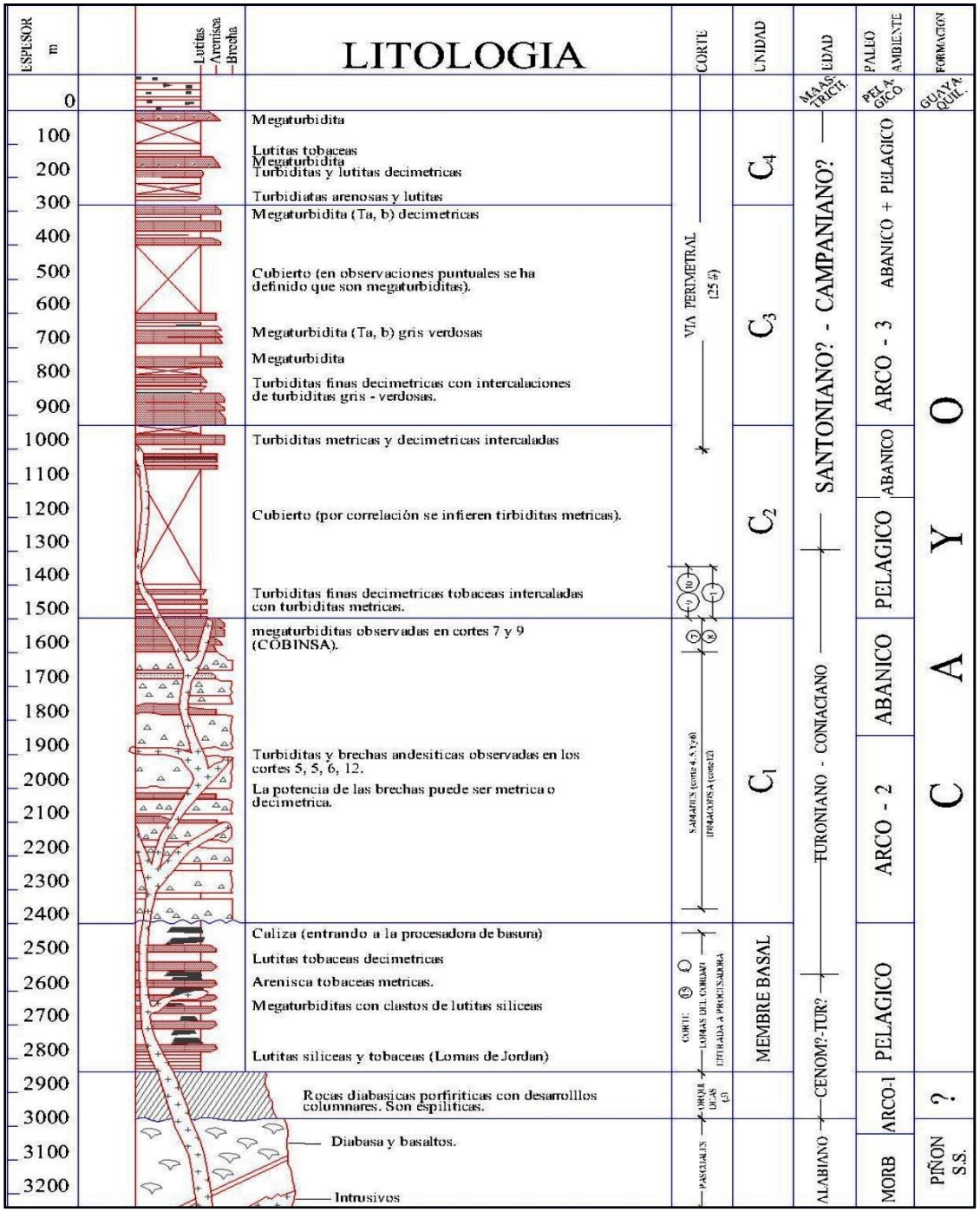


Figura 6. Columna estratigráfica de la formación Cayo en Guayaquil (Benitez, 1995).

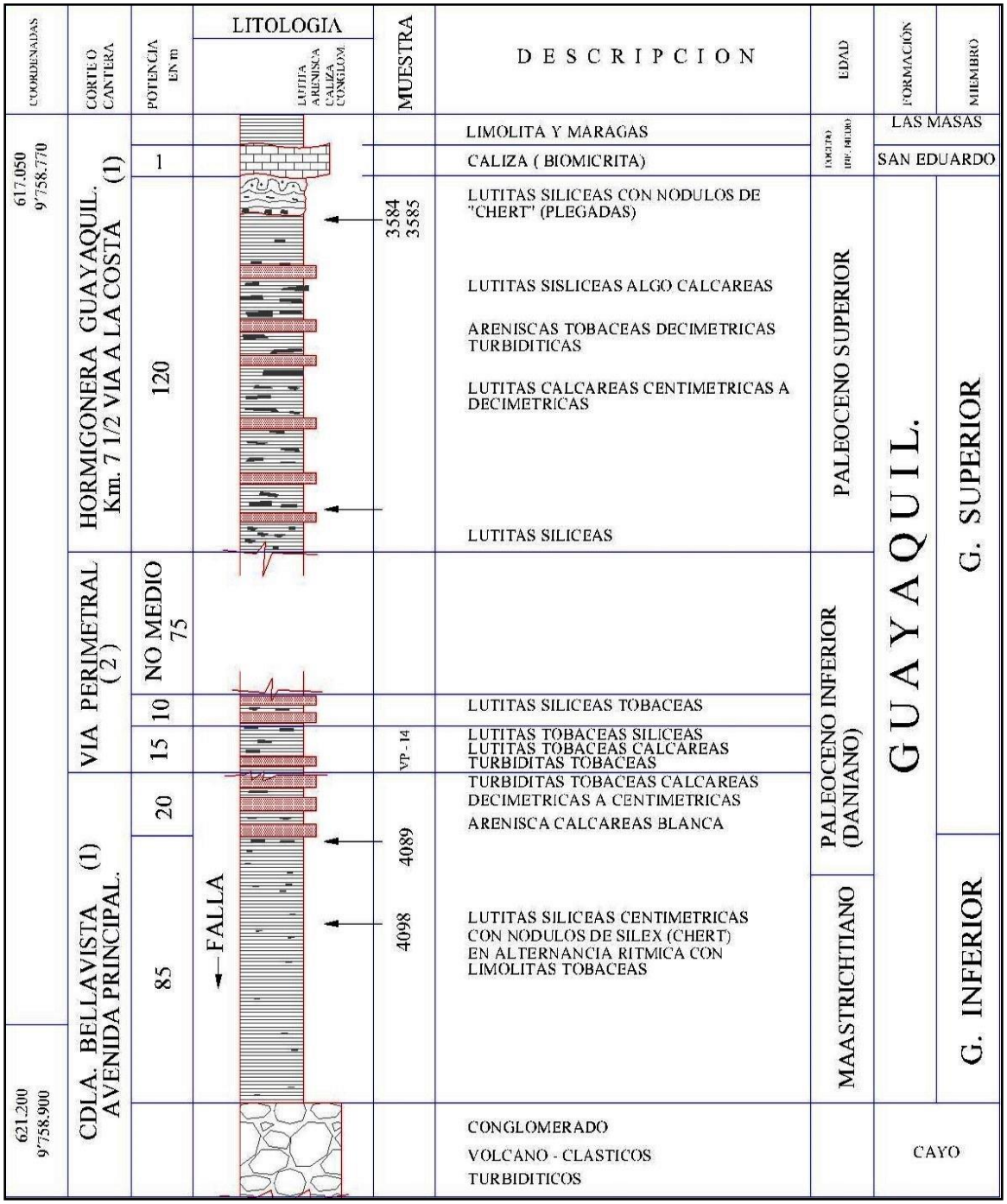


Figura 7. Columna estratigráfica de la formación Guayaquil en Guayaquil (Benítez, 1995).

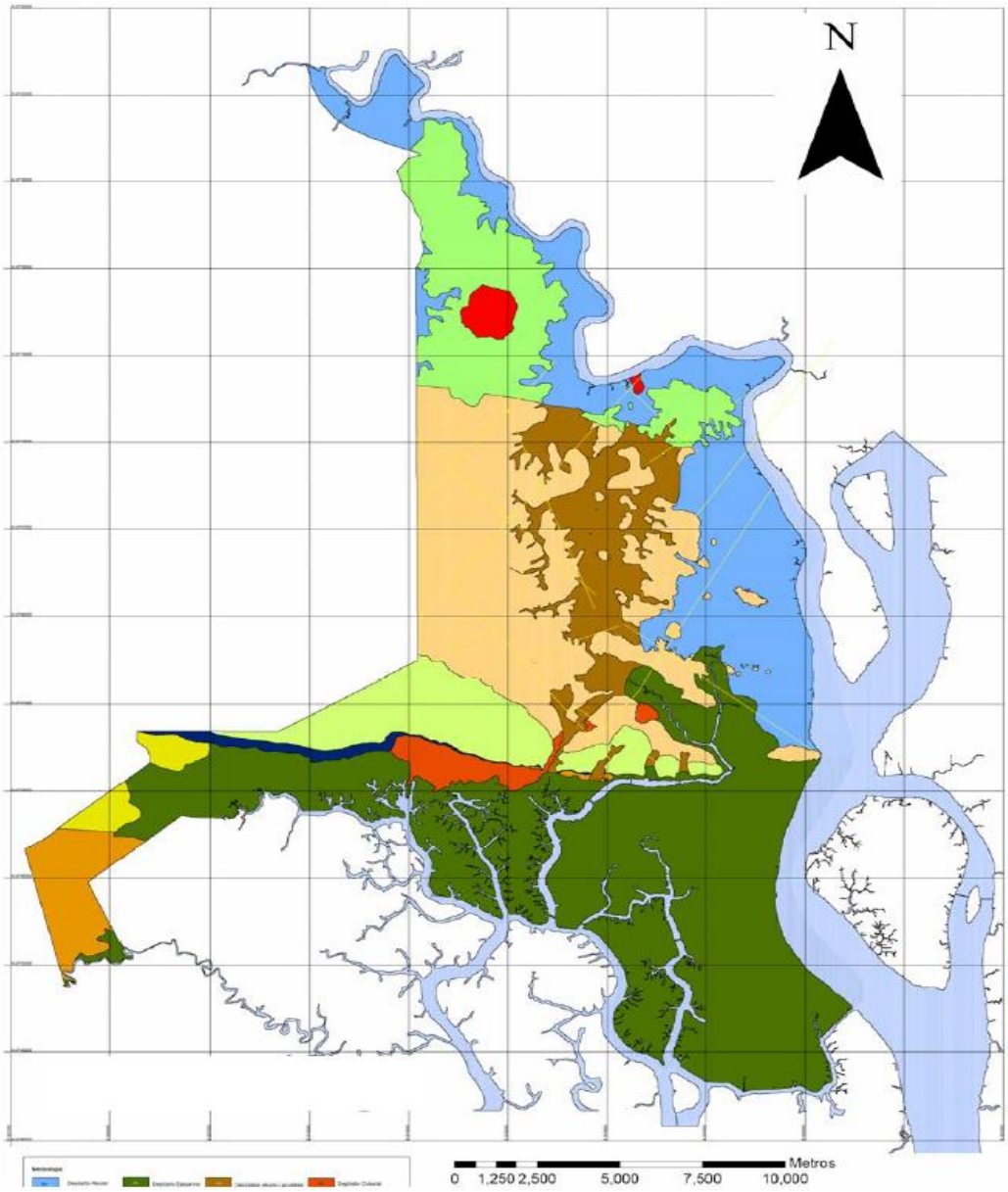


Figura 8. Mapa geológico de Guayaquil. Proyecto "Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil" (Benitez et al., 2005).

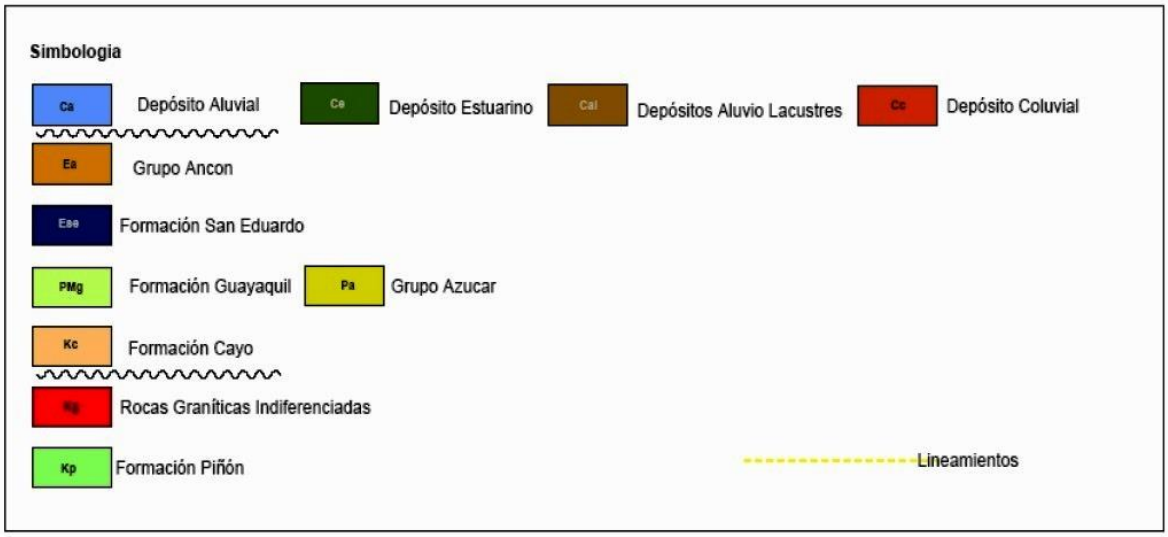


Figura 9. Simbología del Mapa Geológico de la ciudad de Guayaquil. Proyecto "Investigación y estudio del comportamiento dinámico del subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil" (Benitez et al., 2005).

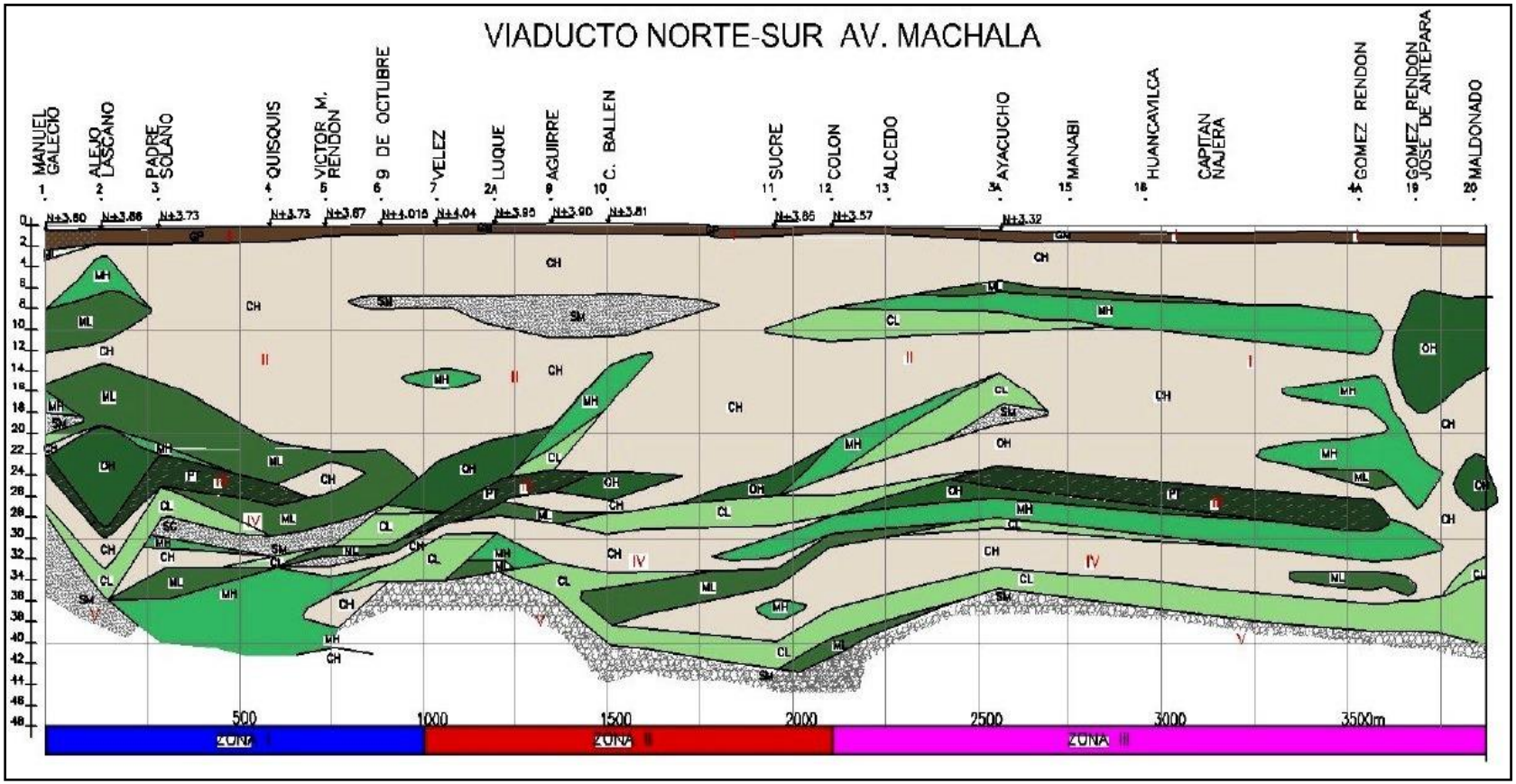


Figura 10. Perfil estratigráfico-geotécnico del proyecto de viaducto en la Av. Machala (Consultora Vera y Asociados, 2002, "Estudio para el viaducto de la Av. Machala", elaborado para la M.I. Municipalidad de Guayaquil.).

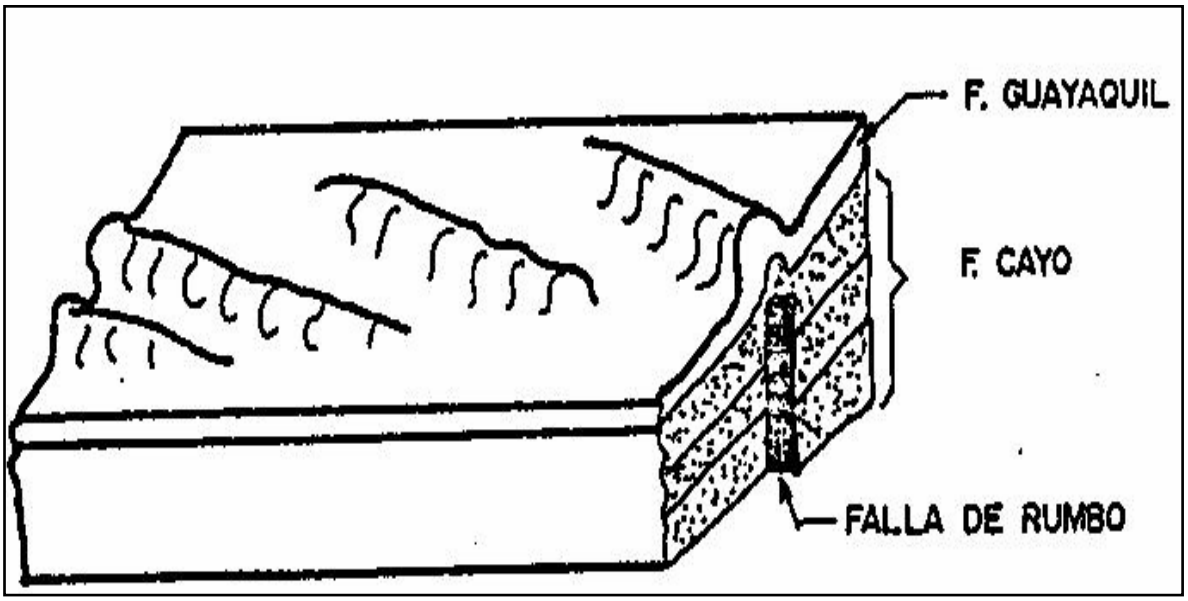


Figura 11. Formación de pliegues por fallas de cizalla (modificado de Goguel, 1965).

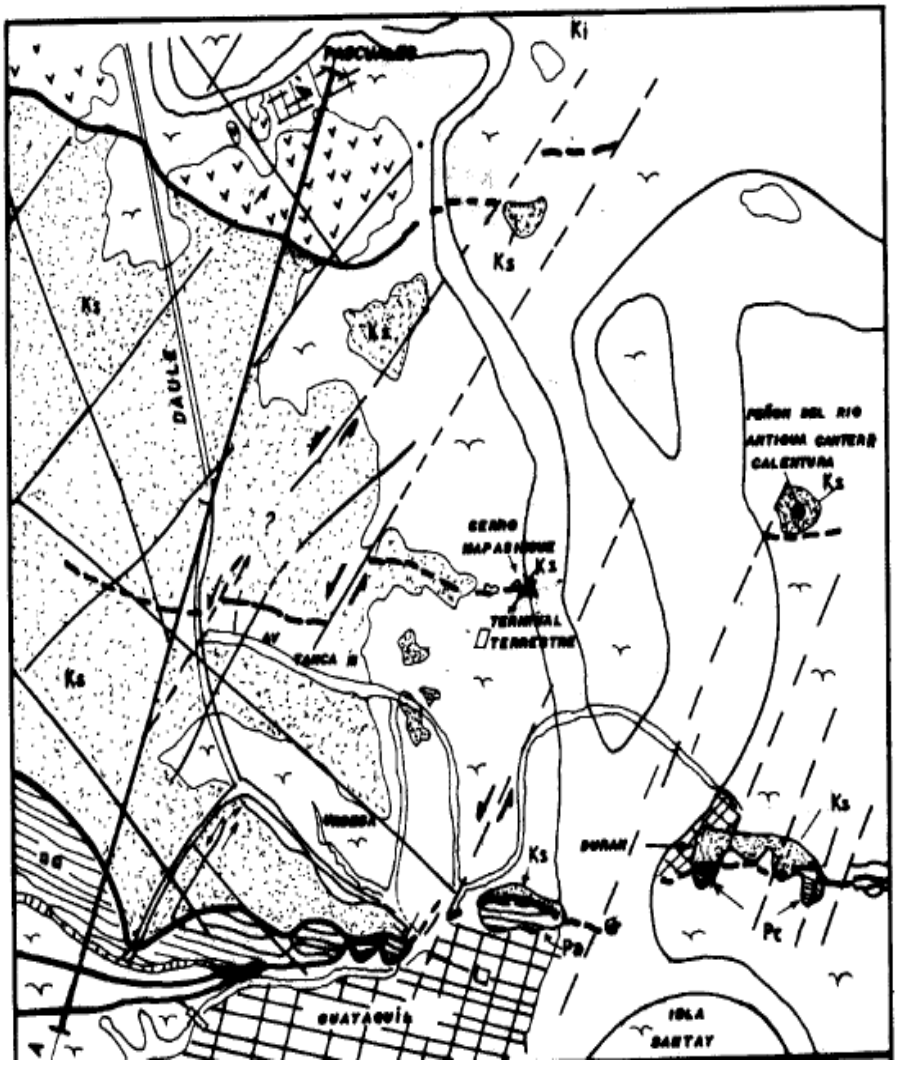


Figura 12. Mapa Geológico de las formaciones Cayo y Guayaquil (informe IIEA – CONUEP, Benítez, 1990) en donde se evidencia el direccionamiento de los alineamientos NE-SO y NO – SE.

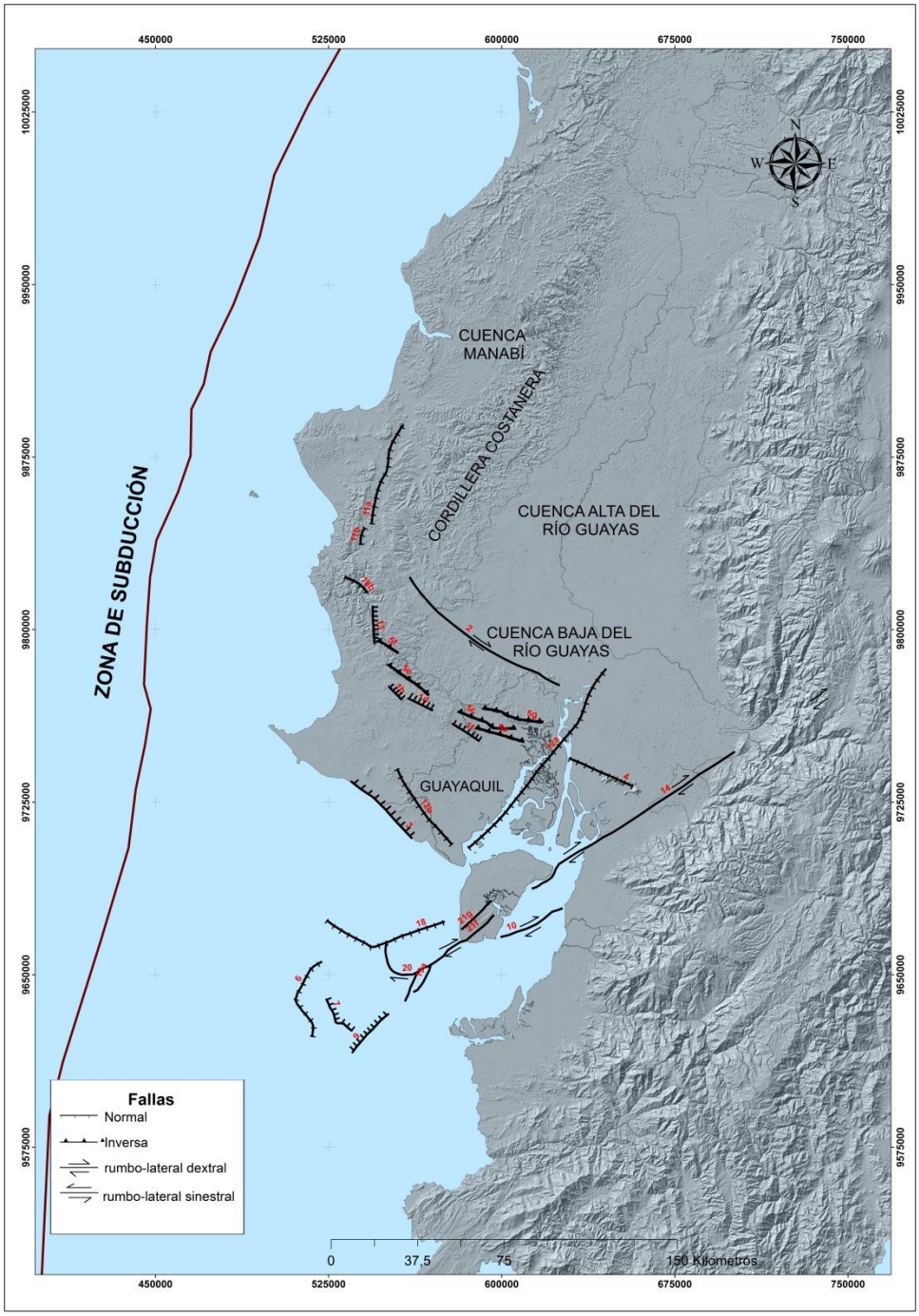


Figura 13. Mapa de Fallas Activas.

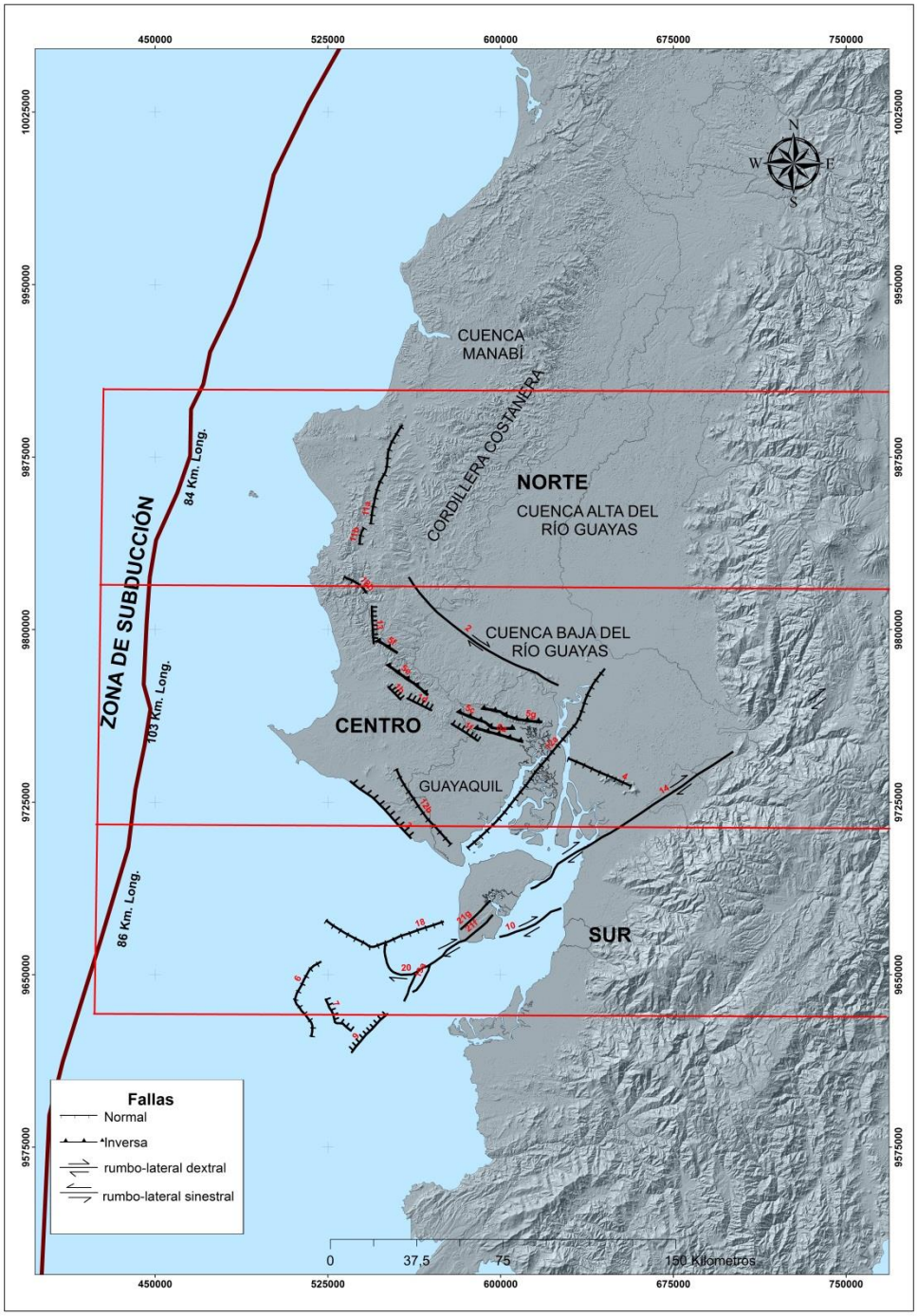


Figura 14. Mapa de segmentos modelos de subducción.

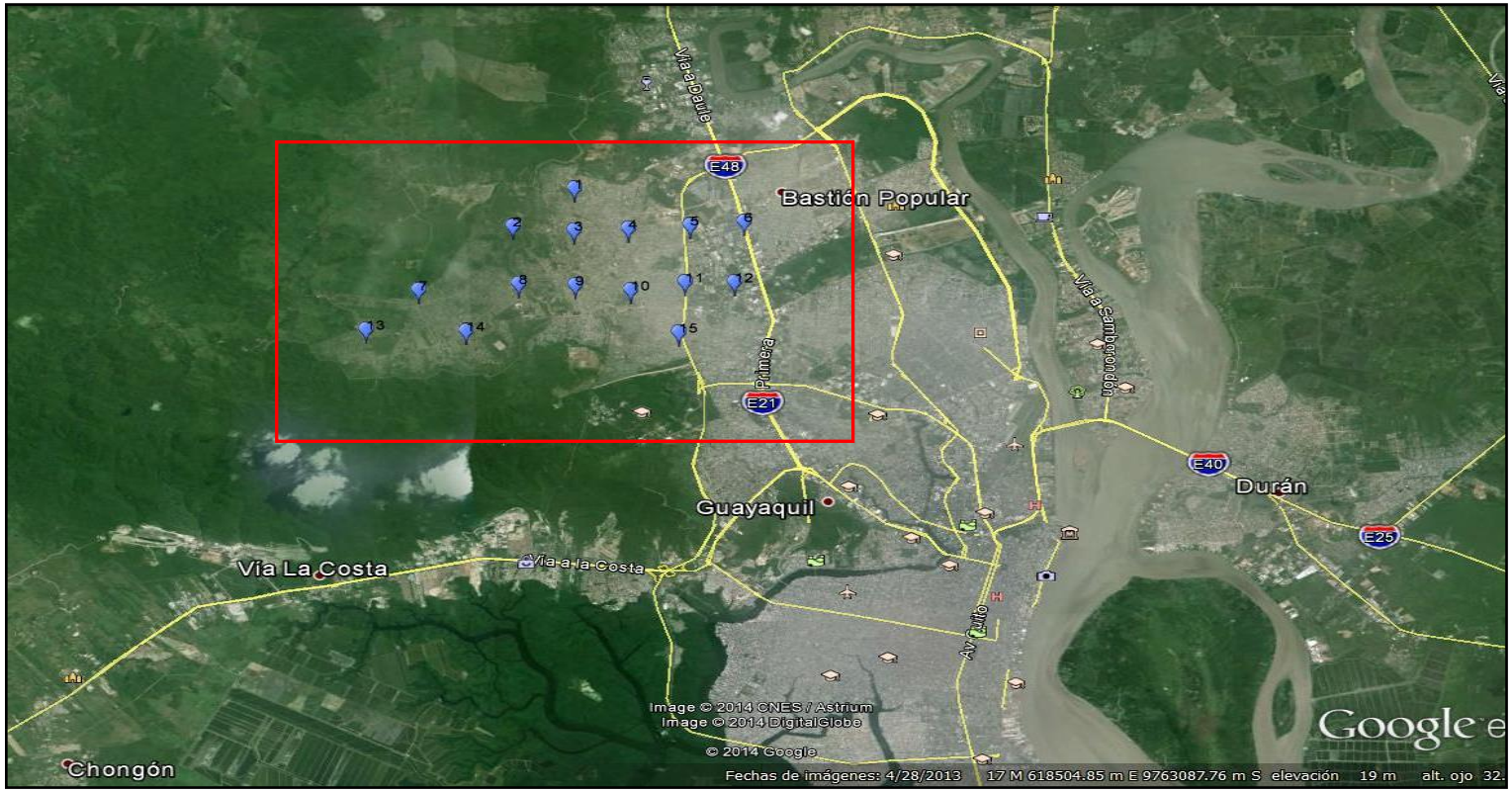


Figura 15. Ubicación del área de estudio.

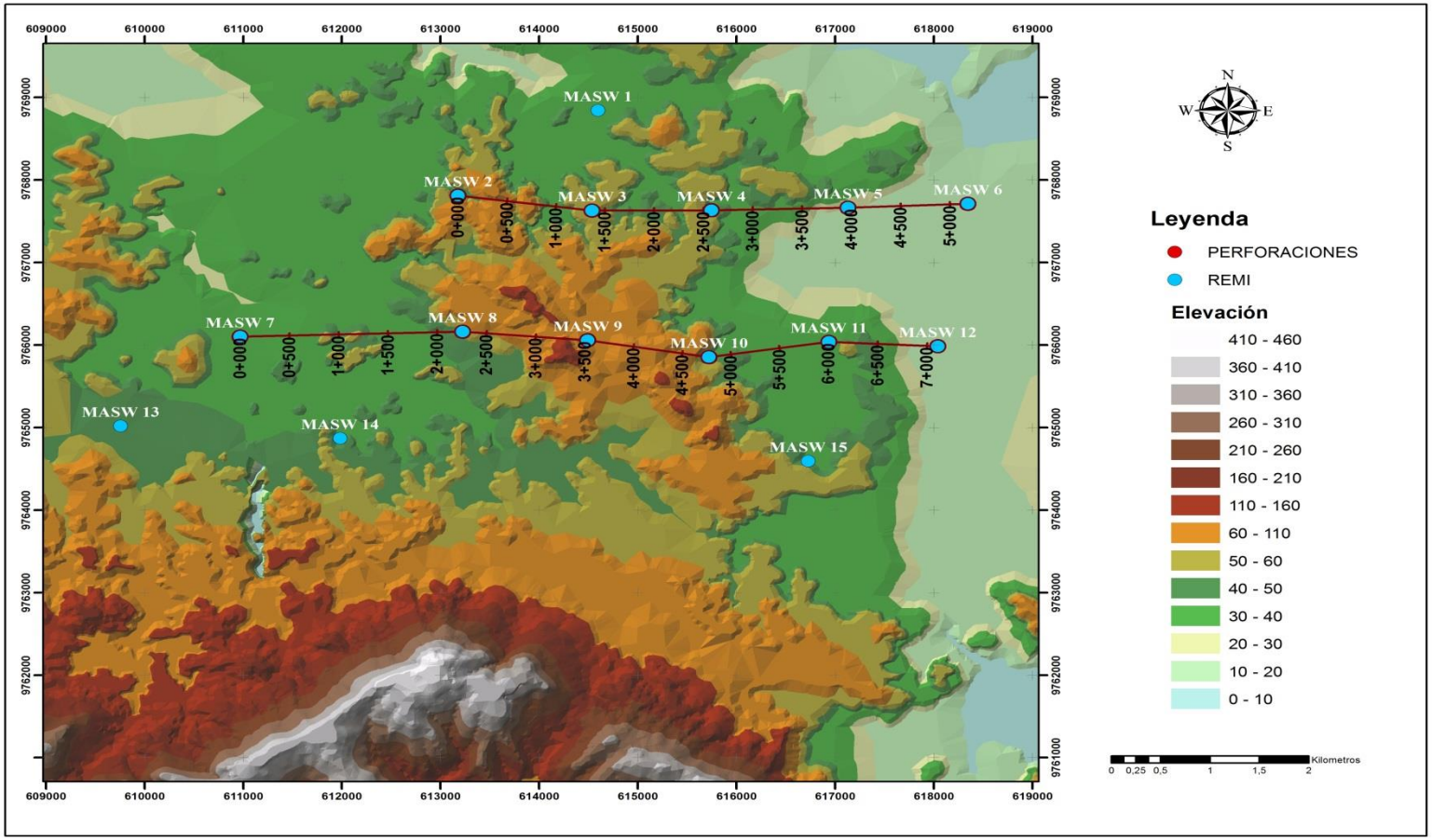


Figura 16. Mapa de Elevación de Sector Norte de la Ciudad de Guayaquil.

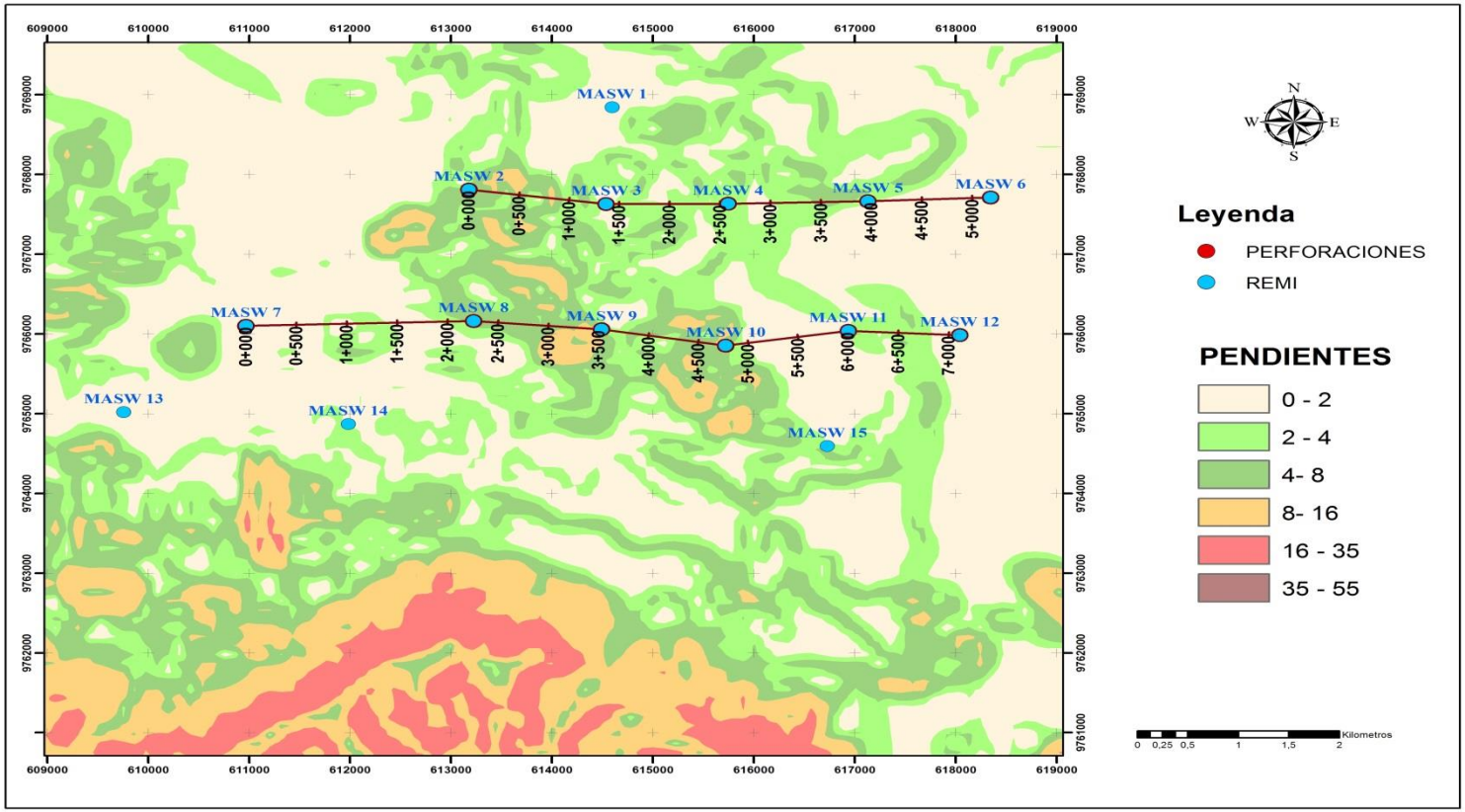


Figura 17. Mapa de Pendientes del Sector NO de la ciudad de Guayaquil.

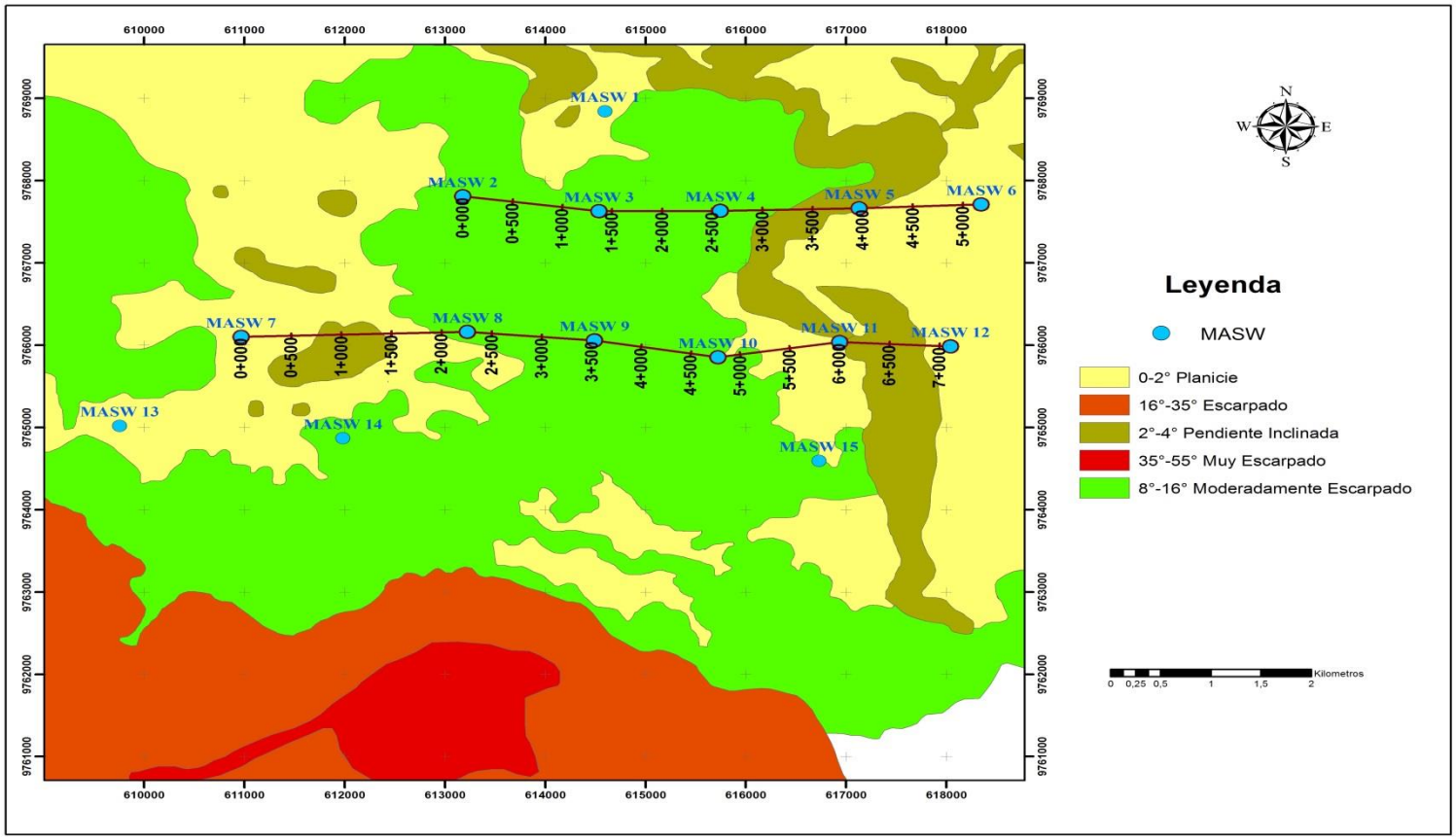


Figura 18. Mapa de Geoformas.

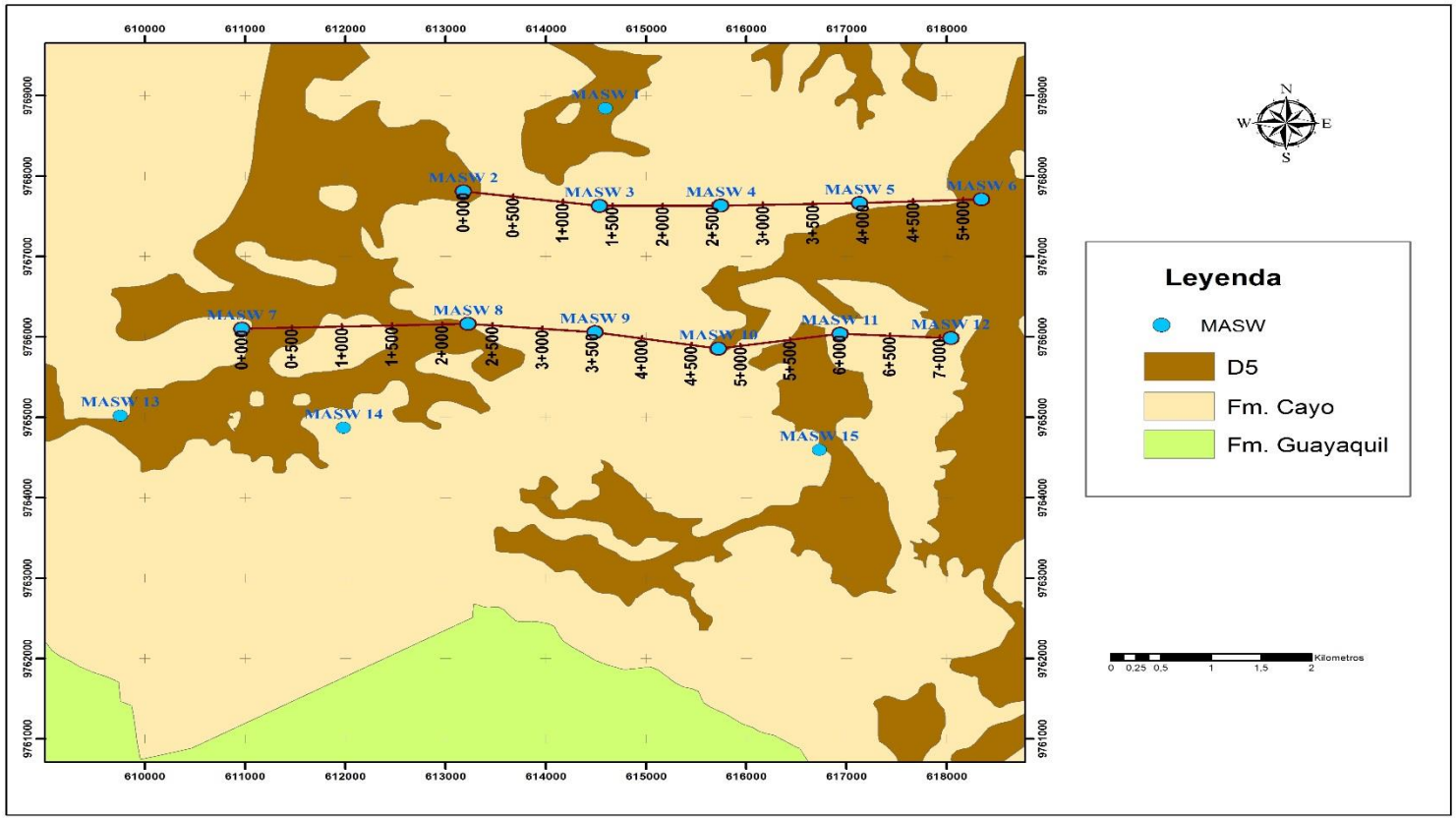


Figura 19. Mapa de ubicación de los 15 MASW de Sector de Bastión Popular.

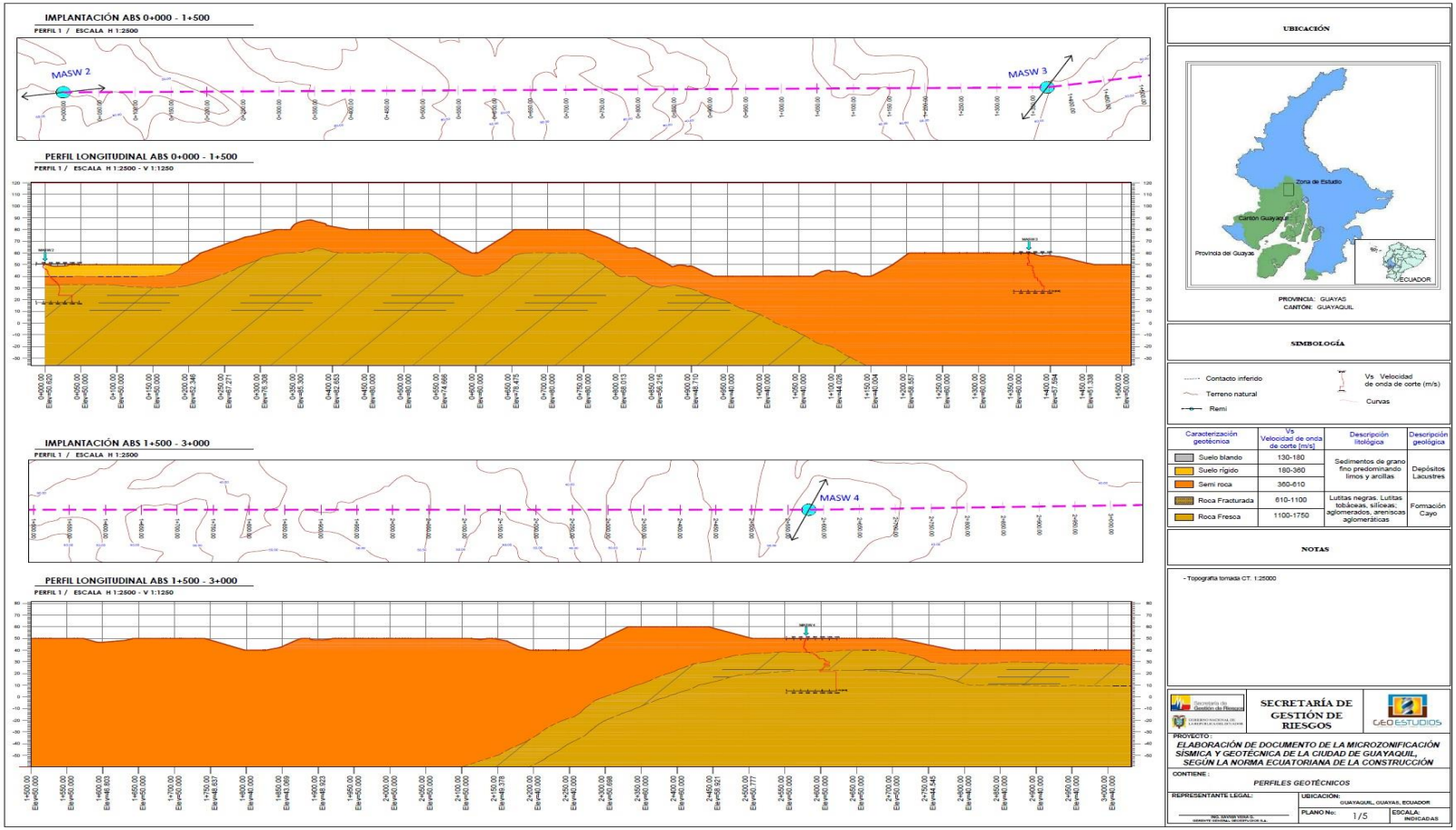
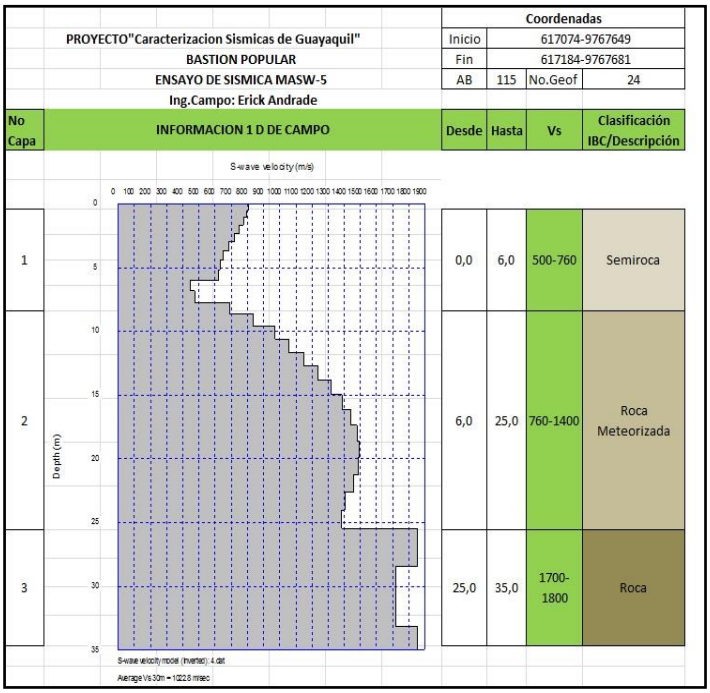


Figura 20. Perfiles de los MASW 3 y MASW 4 en el sector de Bastión Popular.



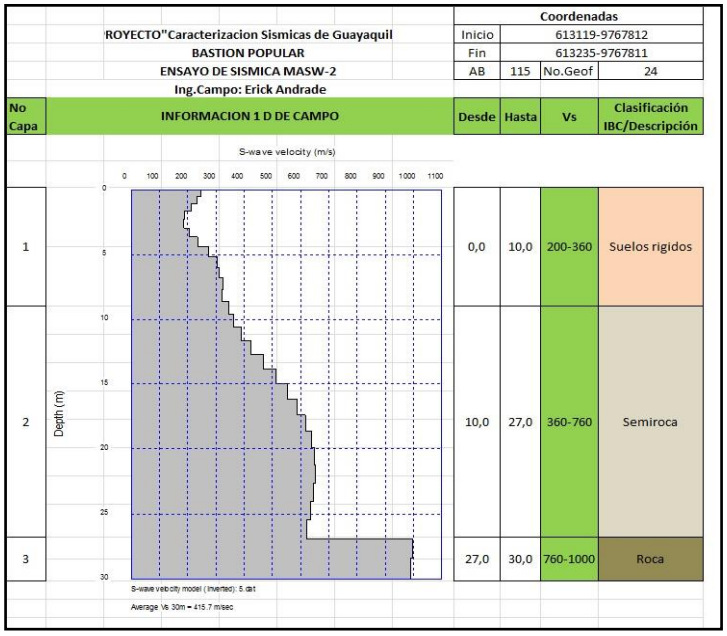


Figura 21. Análisis Multicanal de ondas superficiales MASW 2 y MASW 5.

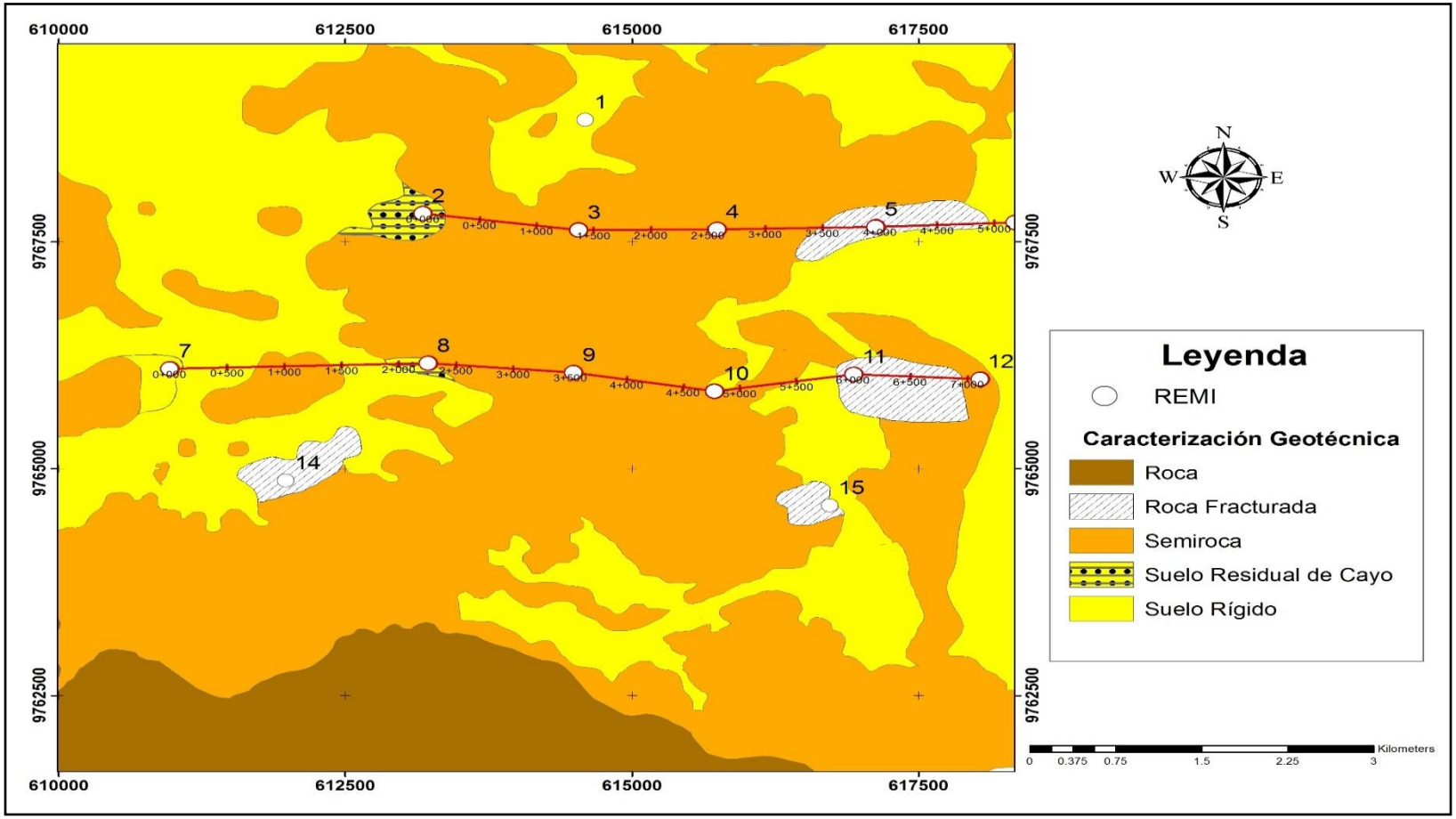


Figura 22. Mapa de Ubicación de los MASW con su respectiva caracterización geotécnica.

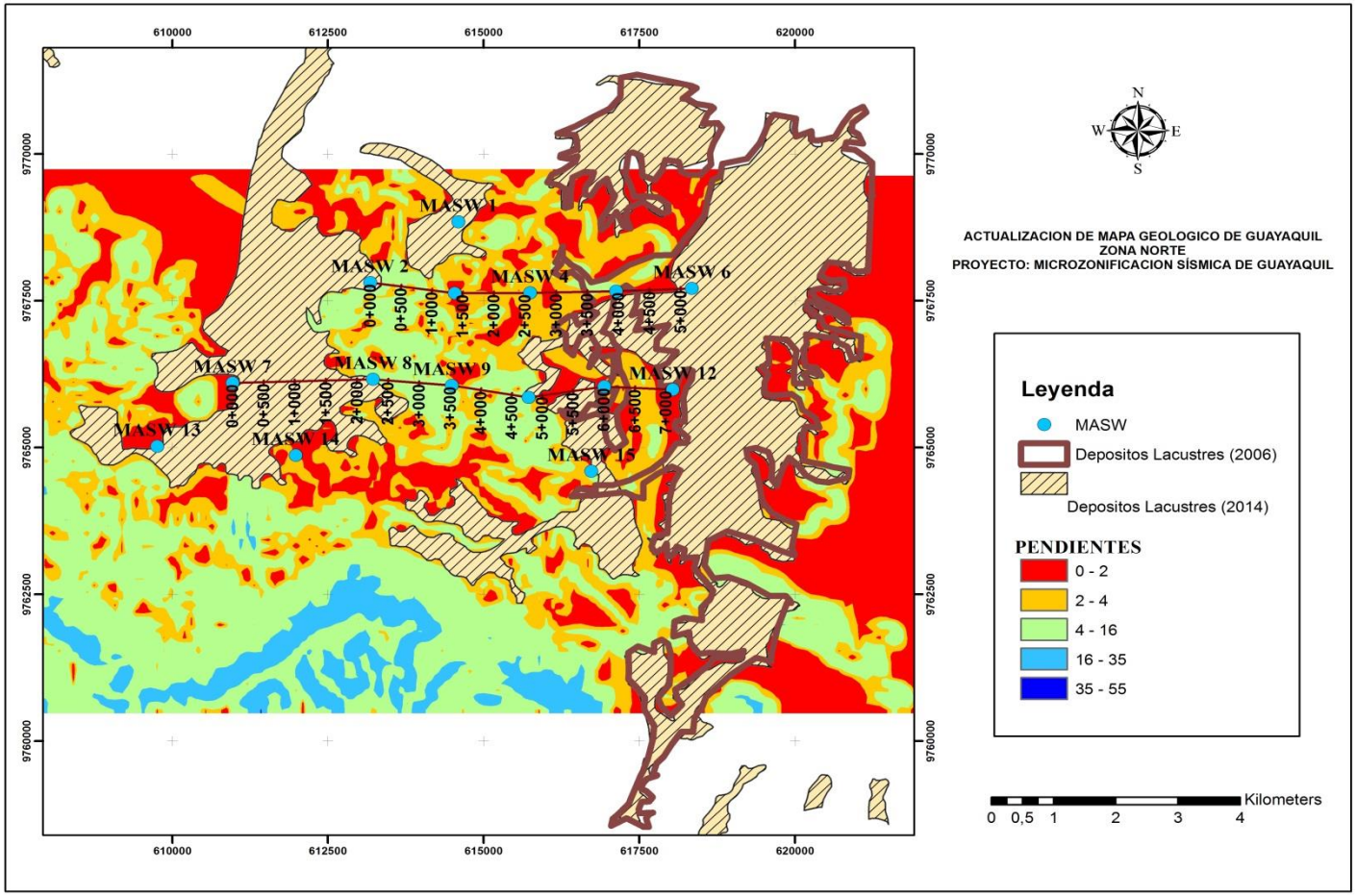


Figura 23. Mapa de Actualización de Mapa Geológico de la ciudad de Guayaquil. Sector Norte.

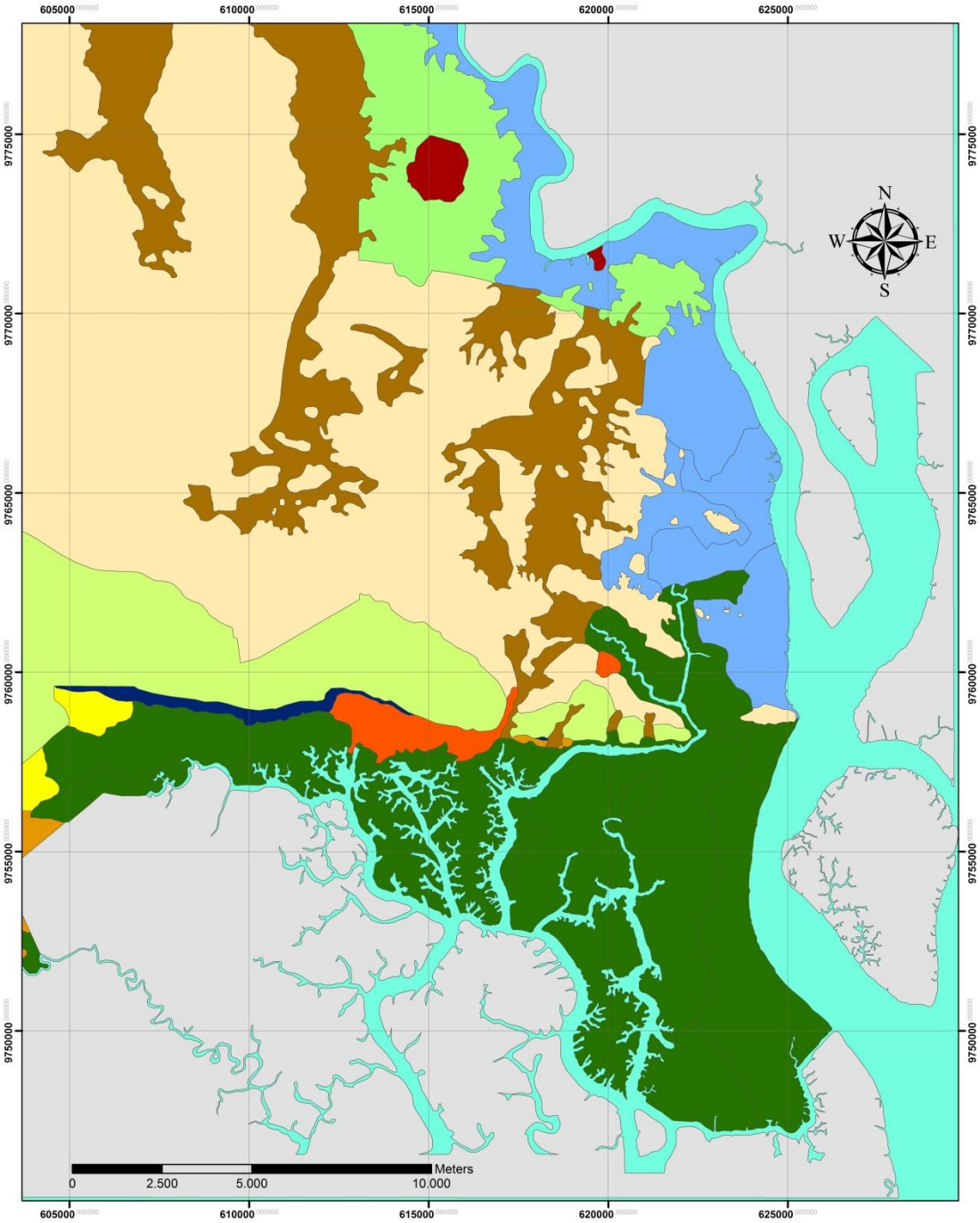


Figura 24a. Mapa Actualizado Geológico de la ciudad de Guayaquil.

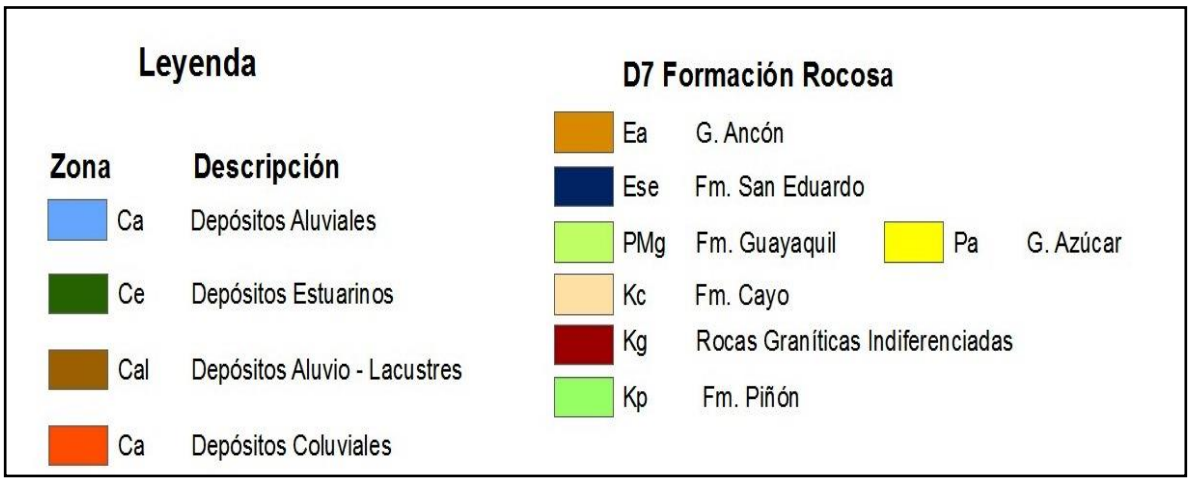


Figura 24b Leyenda de Mapa Geológico de la ciudad de Guayaquil.