



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS GEOLÓGICAS Y AMBIENTALES

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de Ingeniero Geólogo

TEMA:

INTERPRETACIÓN DE DATOS SÍSMICOS, BATIMÉTRICOS
Y GEOLOGÍA MARINA PARA LA DETERMINACIÓN DE
PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL GOLFO DE GUAYAQUIL.

AUTOR:

GEOVANNY ALEXANDER ZAMBRANO CASTILLO

DIRECTOR:

Ing. ALFREDO NAPOLEÓN NOBOA CÁRDENAS

Guayaquil - Ecuador
2016

© Derechos de autor

Geovanny Alexander Zambrano Castillo

2016

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS GEOLÓGICAS Y AMBIENTALES

CALIFICACIÓN QUE OTORGA EL TRIBUNAL QUE RECIBE LA SUSTENTACIÓN Y
DEFENSA DEL TRABAJO INDIVIDUAL DE TITULACIÓN: TESIS DENOMINADO:

“INTERPRETACIÓN DE DATOS SÍSMICOS, BATIMÉTRICOS Y GEOLOGÍA MARINA
PARA LA DETERMINACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL GOLFO DE
GUAYAQUIL”.

PRESENTADO POR: GEOVANNY ALEXANDER ZAMBRANO CASTILLO

PREVIO A OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO GEOLÓGO

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CALIFICACIÓN (Número y Letra)

Ing. Minas. Víctor Hugo Narváez Baquerizo, M.Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Glgo. Honorio Morán Coello.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Glgo. Erwin Larreta Torres.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TRABAJO INDIVIDUAL DE TITULACIÓN
REALIZADA EN EL AUDITÓRIUM DE LA FACULTAD, EL DÍA _____
LO CERTIFICO.

Abg. Jorge Solórzano Cabezas
SECRETARIO DE LA FACULTAD

DEDICATORIA

A mi madre/padre Milady Zambrano y a mis hermanos Junner, Jeremy y Jostin por ser mi pirámide de vida y mi inspiración para salir adelante.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por acompañarme en los momentos difíciles, dándome su motivación y soporte emocional, moral y económico para alcanzar este logro. De forma especial agradezco a Jorge Maldonado y Tatiana Maldonado, quienes me brindaron su apoyo durante mi estancia en Guayaquil.

A los Docentes de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil, por sus conocimientos impartidos a lo largo de mi formación académica.

Al Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) y a la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT), por darme la oportunidad de formar parte de tan prestigiosas instituciones y desarrollar mis habilidades pre- profesionales en ellas. En especial al el CPFGE-EMT Andrés Pazmiño, Ing. Glenda Loayza e Ing. Lourdes Muñoz, por su esfuerzo y paciencia al transmitir sus conocimientos.

Al Ing. Alfredo Noboa Cárdenas, Director de Tesis, por la colaboración incondicional en todo momento en que se requirió de su importante ayuda

Al Ing. Honorio Morán Coello e Ing. Erwin Larreta Torres, Miembros de la Comisión de Revisión de esta Tesis, por la colaboración en el ordenamiento y presentación de la misma, así como por el valioso aporte técnico y profesional para lograr realizar con éxito este trabajo.

A todos mis amigos/as de la promoción, con quienes compartí durante estos 5 años, que me apoyaron de una u otra manera. A Guido que me alentó en la conclusión de esta investigación.

A JESB, aquella persona que con su dulzura, rabietas y amargura, me presionó para que pudiera terminar mi tesis.

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en el sector norte del Golfo de Guayaquil, que corresponde a un área oceánica y terrestre, el área terrestre entre General Villamil-Playas hasta Data de Posorja.

Los datos fueron proporcionados por parte del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), obtenidos en el Proyecto “Estudio de la evolución tectónica y sedimentaria reciente del margen continental del Golfo de Guayaquil y Esmeraldas a partir de datos de geofísica y geología marina” (MARGE), en el cual se levantaron perfiles sísmicos utilizando equipos de sísmica de reflexión de alta resolución (Sparker), así como batimetría en la zona oceánica, mientras que en la zona terrestre se levantó la línea de costa y perfiles transversales.

A partir de los datos en la área oceánica se realizó el procesamiento e interpretación aplicando dos software: ArcGIS y Geosuite para la información batimétrica y sísmica respectivamente. Mientras que para los datos del área terrestre también se utilizó el software ArcGIS para procesamiento e interpretación.

El análisis de los datos permitió realizar una caracterización geomorfológica, así como también identificar las facies sedimentarias y las estructuras que se localizan en el sector. Mientras que en el sector terrestre el análisis de los datos, permitió establecer cuáles son las zonas de erosión y acreción, todo esto para poder determinar las zonas de peligrosidad que puedan afectar a la comunidad del sector.

SUMMARY

This research was conducted in the northern part of the Gulf of Guayaquil, which corresponds to an oceanic and land area, the land area between General Villamil Playas to Data Posorja.

The data were provided by the Naval Oceanographic Institute (INOCAR), by project Study of the Recent Tectonic and Sedimentary Evolution of the Continental Margin of the Gulf of Guayaquil and Esmeraldas, using marine geology and geophysical data (MARGE), in which seismic profiles were created using seismic reflection high resolution equipment (Sparker) and bathymetry in the oceanic zone, while in the area of land was created a line coast and cross sections.

From the data in the oceanic area, processing and interpretation was conducted using two software, ArcGIS and GeoSuite for bathymetric and seismic data respectively: While for the data land also software ArcGIS was used for processing and interpretation.

The data analysis allowed a geomorphology characterization, as well as identify facies and structures that are located in the sector. While in the land sector analysis of the data it allowed us to establish which areas of erosion and accretion, all this in order to identify areas of risk that may affect the community sector

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES.	1
1.2. HIPÓTESIS DEL PROYECTO	2
1.3. OBJETIVOS	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	3
1.4.1. Descripción.....	3
1.4.2. Ubicación.....	3
1.5. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	5
1.5.1. Zona oceánica.....	5
1.5.2. Zona Continental.	6
CAPÍTULO II	8
ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL GOLFO DE GUAYAQUIL.	8
2.1. MARCO GEODINÁMICO DEL ECUADOR.....	8
2.2. LÍMITES DEL GOLFO.	9
2.3. MORFOLOGÍA	9
2.4. MARCO GEOLÓGICO DEL GOLFO DE GUAYAQUIL	10
2.5. PRINCIPALES ESTRUCTURAS DEL GOLFO DE GUAYAQUIL.....	12
2.5.1. Esquema estructural de Lions (1995).....	12
2.5.2. Esquema estructural de Deniaud (1998, 1999, 2000)	13
2.5.3. Esquema estructural de Deckelman <i>et al.</i> (2008).....	15

2.5.4.	Esquema estructural de Witt (2007) y Witt <i>et al.</i> (2006).	16
2.5.5.	Esquema estructural de Dumont y Santana (2009).	18
2.5.6.	Esquema estructural de Cobos y Montenegro (2010).	19
CAPÍTULO III		21
RIESGOS GEOLÓGICOS EN EL LITORAL ECUATORIANO		21
3.1.	CONCEPTOS BÁSICOS	21
3.2.	RIESGOS GEOLÓGICOS EN LAS COSTAS SUDAMERICANAS	22
3.3.	PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL LITORAL ECUATORIANO.	25
3.3.1.	Peligrosidad por inundaciones.	25
3.3.2.	Peligrosidad por sismicidad.	26
3.3.3.	Riesgo tsunamigénico en el Golfo de Guayaquil.	26
3.3.4.	Peligrosidad por deslizamientos.	30
CAPÍTULO IV		32
INTERPRETACIÓN DE LÍNEAS SÍSMICAS Y BATIMETRÍA MONO-HAZ		32
4.1.	UBICACIÓN DE LÍNEAS SÍSMICAS.	32
4.2.	ADQUISICIÓN SÍSMICA	32
4.2.1.	Fuente sísmica	33
4.2.2.	Cadena de hidrófonos mono-canal.	34
4.2.3.	Sistema de grabación digital.	34
4.2.4.	Procedimiento de control de calidad en línea.	35
4.2.5.	Sumario de los parámetros de adquisición	36
4.2.6.	Sistema de posicionamiento de superficie.	37
4.2.7.	Buque de investigación.	37
4.3.	ANÁLISIS DE SÍSMICO	38

4.3.1.	Descripción de unidades y facies	38
4.3.2.	Edad relativa.....	43
4.3.3.	Levantamiento Santa Elena.....	44
4.4.	ADQUISICION DE DATOS BATIMETRICOS.....	44
4.5.	ANÁLISIS DE BATIMETRÍA MONO-HAZ.....	46
	CAPÍTULO V	51
	GEOMORFOLOGÍA Y DINÁMICA COSTERA.....	51
5.1.	GEOLOGÍA REGIONAL.	51
5.2.	GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	52
5.3.	ANÁLISIS GEOLÓGICO – GEOMORFOLÓGICO DE LA ZONA CONTINENTAL	53
5.3.1.	Geología local.	54
5.3.2.	Geomorfología del sector.....	55
5.4.	ANÁLISIS DE PERFILES LEVANTADOS EN LOS AÑOS 2013-2015.....	59
5.5.	ANÁLISIS MULTITEMPORAL	67
	CAPÍTULO VI	72
	RESULTADOS.....	72
6.1.	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SÍSMICA, BATIMETRÍA Y GEOLOGÍA MARINA.	72
6.2.	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA DINÁMICA COSTERA	72
6.2.1.	Áreas con potenciales peligros geológicos	75
	CAPÍTULO VII	77
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
6.3.	CONCLUSIONES	77

6.4. RECOMENDACIONES.....	79
BIBLIOGRAFÍA.....	80
ANEXOS.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Coordenadas de los vértices del Polígono del área de estudio.....	4
Tabla 4.1. Características de las unidades.....	42
Tabla 5.1. Coordenadas de perfiles levantados en General Villamil Playas-Data de Posorja.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación del área de estudio.....	4
Figura 2.1. Esquema estructural de Golfo de Guayaquil.....	13
Figura 2.2. Esquema estructural del Golfo de Guayaquil.....	15
Figura 2.3. Esquema estructural del Golfo de Guayaquil.....	18
Figura 3.1. Esquema de riesgos asociados a la dinámica litoral y factores implicados.....	24
Figura 3.2. Formación de las olas.....	27
Figura 3.3. Representación georeferenciada de los eventos tsunamigénicos en el Ecuador.....	28
Figura 4.1. Diagrama de recolección de datos sísmicos.....	37
Figura 4.2. Esquema de representación de las terrazas de arrecifes durante los últimos 500 ka.....	43
Figura 4.3. Ecosonda MKIII.....	45
Figura 4.4. GPS Trimble 5700.....	46
Figura 6.1. TRAMO 8. Afectada por la erosión. Desembocadura del río Data de Posorja.....	74

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 3.1. Mapa Sismotectónico del Golfo de Guayaquil.....	30
Mapa 4.1. Mapa de ubicación de las líneas sísmicas del Golfo de Guayaquil.....	32
Mapa 4.2. Mapa de pendientes del Golfo de Guayaquil.....	48
Mapa 4.3. Clasificación de las geoformas en base al criterio de batimetría.....	49
Mapa 4.4. Proyección 3D del Golfo de Guayaquil.....	50
Mapa 5.1. Sectorización de la zona de estudio.....	53
Mapa 5.2. Segmentación de la zona de análisis multitemporal en tramos.....	68
Mapa 5.3. General Villamil Playas, TRAMO 1.....	69
Mapa 5.4. General Villamil Playas, TRAMO 3.....	69
Mapa 5.5. TRAMO 4.....	70
Mapa 5.6. TRAMO 6.....	70
Mapa 5.7. TRAMO 8.....	71
Mapa 5.8. TRAMO 9.....	71

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 5.1. Formación Progreso.....	54
Foto 5.2. Grupo Azúcar.....	55
Foto 5.3. Escarpe de antiguas terrazas.....	56
Foto 5.4. Playa separada por grupo Azúcar.....	57
Foto 5.5. Abanico aluvial.....	58
Foto 5.6. Acantilados.....	59
Foto 6.1. Imágenes A, B, C y C en la que se puede observar la infraestructura afectada por la variación de la desembocadura del río Data de Posorja.....	74

ABREVIACIONES Y SIGLAS.

cm	Centímetros
ka	Miles de Años
kJ	KiloJoule
Km	Kilómetros
Km²	Kilómetros cuadrados
m	metros
mm	milímetros
ms	milisegundos
msnm	Metros sobre el nivel del mar
TWTT	Two way Travel Time/ tiempo doble de viaje
3D	Tres dimensiones

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los peligros geológicos a los que se ven expuestas las costas ecuatorianas son varios, debido a que se encuentran situadas dentro del Cinturón de Fuego (subduce la Placa Nazca por debajo de la Sudamericana). El Golfo de Guayaquil presenta una sismicidad muy considerable, ya que en este sector se inicia la segmentación de la placa Sudamericana, con una mega falla regional que termina en Venezuela.

Por esta razón, es de suma importancia determinar cuáles son las estructuras que representarían peligros geológicos al norte del Golfo de Guayaquil, mediante la interpretación de datos sísmicos y batimétricos. Además de establecer las zonas vulnerables en la parte continental, a través del análisis de datos de geología marina. La información generada en esta investigación permitirá tomar medidas de prevención para la población situada en el área de estudio. Los datos en los que se basa esta investigación serán proporcionados por el proyecto MARGE-INOCAR.

1.1. ANTECEDENTES.

El Golfo de Guayaquil ha sido estudiado por varios autores desde el punto económico y científico, ya que en éste se encuentran reservas de gas. Además de buscar la explicación del origen y evolución del mismo. Todo esto se ha llevado a cabo mediante el análisis de sísmica de profundidad y núcleos de los pozos que se han perforados. En la sísmica de profundidad no se puede analizar

los sedimentos superficiales. Por lo que es viable realizar una investigación en la cual se determine cuáles son las estructuras que afectan los sedimentos someros y que puedan representar peligros geológicos para la población aledaña. Además de detallar las zonas que se puedan ver afectadas en el área costera por los peligros que se puedan identificar en el fondo marino.

1.2. HIPÓTESIS

La aplicación de una interpretación de datos sísmicos, batimétricos y geología marina en el Golfo de Guayaquil permitiría la determinación de peligros geológicos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

- ❖ Determinar la existencia de peligros geológicos en el Golfo de Guayaquil mediante una interpretación de datos sísmicos, batimétricos y geología marina.

1.3.2. Objetivos específicos

- ❖ Identificar estructuras y fallas geológicas superficiales del fondo marino mediante la interpretación de perfiles sísmicos del área de estudio.
- ❖ Clasificar la geomorfología submarina que represente peligrosidad geológica a través del análisis de los datos batimétricos.

- ❖ Determinar la geomorfología terrestre y variabilidad costera, entre los tramos comprendidos desde Engabao hasta Data de Posorja, a través del análisis, interpretación y cálculo de la variación de las líneas de costas de los años 2009, 2013 y 2015.

1.4. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.4.1. Descripción

El cantón correspondiente en la zona continental es General Villamil-Playas, perteneciente a la Provincia de Guayas, el cual se encuentra a 96 Km de la ciudad de Guayaquil, capital de provincia. Cuenta con una población de 41.395 habitantes según el Censo de Población y Viviendas realizado en el año 2010. El clima de General Villamil-Playas, es seco, la temperatura anual varía entre 22° y 26° C. Los ejes económicos del lugar son la pesca y el turismo. Es uno de los principales balnearios de la provincia.

El área de estudio en la zona continental abarca 14 Km de playa, que van desde la ciudad de Playas hasta el poblado de Data de Posorja.

1.4.2. Ubicación

El área de estudio está ubicada al norte del Golfo de Guayaquil, delimitado por el polígono que se muestra en la Figura 1.1, siendo sus coordenadas las que se detallan en la Tabla 1.1.

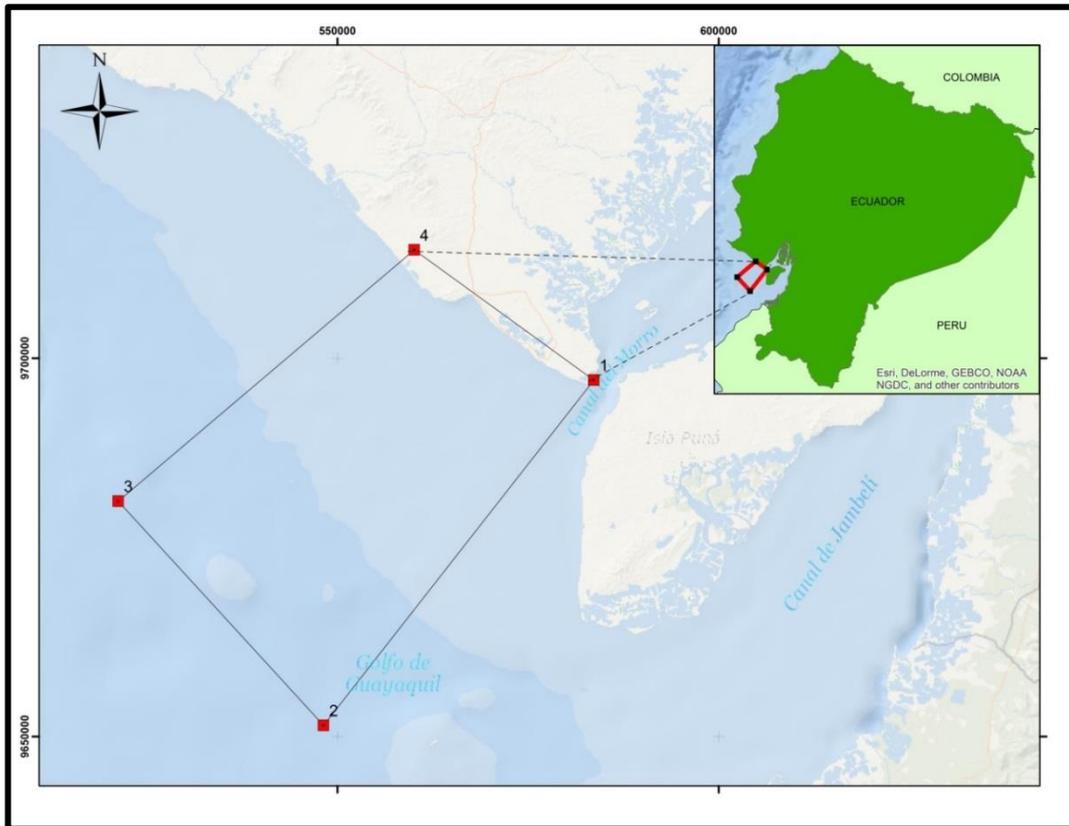


Figura 1.1. Ubicación de área de estudio. El área corresponde a zona marina y terrestre.
Fuente: Base de mapa ArcGIS, polígono elaborado por Autor.

Tabla 1.1. Coordenadas de los vértices del Polígono del Área de estudio

Puntos	Coordenadas UTM. Datum: WGS 84	
	X	Y
1	9678033	576644
2	9711370	554843
3	9654653	541084
4	9692743	520870

Fuente: Elaborada por Autor

1.5. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.

La metodología que se describe en esta investigación tiene dos frentes de desarrollo, uno en la zona oceánica y el otro en el área continental. Se dividió de esta manera debido a que es de suma importancia identificar estructuras en el subsuelo marino así como también conocer las características geológicas y la dinámica litoral en el continente para así señalar la zona que se podría ver amenazada.

1.5.1. Zona oceánica.

1.5.1.1. Recopilación de trabajos anteriores

Esta etapa se llevó a cabo con el fin de conocer los modelos que proponen diversos autores para el origen y evolución del Golfo de Guayaquil.

1.5.1.2. Obtención de información sísmica y batimétrica.

Los datos de sísmica y batimetría fueron proporcionados por el INOCAR, quien junto con la Secretaria Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) llevan a cabo un proyecto de investigación científica.

1.5.1.3. Interpretación de datos sísmicos.

Mediante la comprensión de principios básicos para la interpretación de líneas sísmicas y la utilización de un software especializado para la interpretación

de datos sísmicos (GEOSUITE), se realizó el análisis de 6 perfiles sísmicos, en los cuales se ven reflejadas las estructuras existentes en la zona de estudio.

1.5.1.4. Interpretación de datos batimétricos.

Se utilizó el software de sistema de información geográfica (SIG) para la interpolación de los datos batimétricos para así generar un modelo de superficie y un mapa de pendientes el cual permite realizar la clasificación de la geomorfología marina.

1.5.2. Zona Continental.

1.5.2.1. Recopilación de información existente.

Mediante la recopilación de papers, revistas científicas y libros se conoció de antemano la geología, geomorfología, y la dinámica costera.

1.5.2.2. Reconocimiento de campo.

Se realizó una salida de campo con el fin de realizar una caracterización geológica y geomorfológica. Para determinar posibles zonas susceptibles a inundaciones o erosión.

1.5.2.3. Levantamiento de línea de costa.

Se levantó la línea de costa y 35 perfiles transversales con el fin de fijar la dinámica litoral y poder establecer zonas de acreción o erosión.

1.5.2.4. Elaboración de mapas temáticos.

Con la información obtenida en el campo y la bibliográfica se procedió a establecer las zonas potenciales a peligros geológicos.

CAPÍTULO II

ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL GOLFO DE GUAYAQUIL.

2.1. MARCO GEODINÁMICO DEL ECUADOR

Ecuador se localiza al NW de América del Sur, el margen ecuatoriano es un límite convergente de placas, caracterizado por la subducción de la Placa Nazca hacia el E por debajo de la placa Sudamericana a una velocidad promedio de 5-7 cm/año (Trenkamp *et al.*, 2002, p. 168).

El basamento del margen continental involucra terrenos oceánicos acrecionados. El principal terreno costero corresponde a la formación Piñón (Goossens & Rose, 1973; Juteau *et al.*, 1977; entre otros) que sobreyacido por material de los arcos volcánicos de San Lorenzo y Cayo del Cretácico Tardío-Paleoceno (Jaillard *et al.*, 1997, p 408) y por las cuencas de ante-arco de Borbón, Manabí y Progreso (Deniaud, 2000, p. 159).

El bloque Nor-andino aparece limitado por un sistema de fallas NNE transcurrentes activas con tendencia dextral (Egüez *et al.*, 2003, p. 5).

Los principales sistemas de falla que limitan al bloque Nor-andino son oblicuas a los Andes ecuatorianos, empezando por el Golfo de Guayaquil (falla Puna-Santa Clara) siguiendo a través de la Cordillera Occidental (falla Pallatanga). Estas fallas principales NE-SW muestran morfología y rasgos cinemáticos transcurrentes dextrales, siendo probablemente responsables de los

terremotos más importantes e históricos en el Ecuador (Beauval *et al.*, 2010, p. 183).

2.2. LÍMITES DEL GOLFO.

El Golfo de Guayaquil constituye la irregularidad más marcada a lo largo de la costa sublineal del borde continental sudamericano. La entrada marina se abre en sentido N-S entre la Puntilla de Salinas y la costa norte del Cabo de Talara.

El límite interno dependerá desde varios puntos de vistas: geográfico, sedimentológico o histórico, este límite ha variado por varias razones como: la sedimentación, el eustatismo y las deformaciones tectónicas. Cabe recalcar que el final de la última transgresión post-glaciar hace 6500-5500 años, el dominio marino abarcaría la parte entre Guayaquil y Vinces, Daule y Babahoyo.

El fondo de este golfo interno es el estuario-delta del río Guayas. La Isla Puná es una de las islas que se encuentra en el interior del golfo, pertenece geológicamente a la margen norte del Golfo, pero también es parte de la zona estuarina del delta actual. (Dumont, J., y Santana, E., 2009, p.186).

2.3. MORFOLOGÍA

La morfología presenta manglares, salitrales y cordones litorales de arena, esto debido a implicación tectónica. Se puede observar que las costas de

barranco muestran un levantamiento tectónico lento, por su parte las costas de manglares están sometidas a la subsidencia (Winckell *et al.*, 1997, p. 380).

Winckell *et al.*, (1997) describió que el Estero Salado a lo largo del borde oeste es un antiguo estuario del río Guayas, indicando además que la desembocadura del río Guayas ha migrado a lo largo del tiempo debido a la transgresión post-glaciar, hace aproximadamente 6500 años, (p. 385).

La finalización de transgresión post-glaciar provocó que la línea de costa se sitúe entre las colinas de Vinces y Colimes. El eje morfo-estructural Guayaquil-Babahoyo aparece como el centro de la zona de subsidencia activa, donde se encuentran desviado el drenaje de la cuenca baja, y es inundada en épocas del fenómeno de El Niño.

2.4. MARCO GEOLÓGICO DEL GOLFO DE GUAYAQUIL

El Golfo de Guayaquil presenta una geología con un basamento de edad cretácico (formación Piñón) donde una vez comenzado el proceso de abertura del mismo se comienza a depositar sedimentos de edad Terciaria.

El desarrollo de la Cuenca Progreso empezó durante el Oligoceno, y terminó al final del Mioceno (Benítez, 1995, p.198).

La relación que se hace del Golfo de Guayaquil y la Cuenca Progreso es muy estrecha. Ya que Deckelman *et al.* (2008) señala en base a perfiles sísmicos

anteriores al Mioceno, que la edad de la cuenca del Golfo podría suponerse desde el Oligoceno, es decir casi simultáneo con la Cuenca Progreso (p. 49). Benítez (1995) con estudios de pozos indicó que el nivel más antiguo datado es el Mioceno.

Los tablazos son plataformas marinas erosionadas o depositadas durante los niveles del mar, durante interglaciares sucesivos del Pleistoceno (Pedoja *et al.*, 2006, p. 87). En la zona de rocas duras, como en la Puntilla de Salinas donde aflora el basamento oceánico cretácico, se puede observar hasta tres niveles de plataformas, correspondiendo a los tres últimos periodos interglaciares (Pedoja, 2003, p. 275). El último tablazo es cortado por el acantilado actual por lo que es visible. La playa actual es producto de una plataforma de erosión cortada por el mar desde la última transgresión post-glaciar (Dumont *et al.*, 2007, p. 174).

Deniaud (1998), identificó cuatro mega-secuencias marcadas como M1 hasta M4, desde el Mioceno hasta el actual. La Cuenca Progreso termina de rellenarse al final de la mega-secuencia M3, y la mega-secuencia M4 marca la apertura del Golfo de Guayaquil, donde se depositan las formaciones Puná y Tablazos, y de los depósitos del Holoceno-Pleistoceno del Golfo de Guayaquil (p. 63).

La Formación Puná constituye la parte más potente de los sedimentos encontrados en pozos del Golfo de Guayaquil. En base a datos bioestratigráficos (Benítez, 1995; Ordóñez, 1994; Deniaud *et al.*, 1999b y Deniaud, 2000)

propusieron una edad Plio-Pleistoceno, con dos miembros estratigráficos: Puná Inferior de edad Plio-Pleistoceno, y Puná Superior de edad Pleistoceno compuesta de los miembros Placer y Lechuza.

Deckelman (2008) en su síntesis considera que la historia sedimentaria del Golfo de Guayaquil empieza en el Oligoceno (p. 51).

2.5. PRINCIPALES ESTRUCTURAS DEL GOLFO DE GUAYAQUIL

El Golfo de Guayaquil se encuentra controlada por una serie de fallas normales o de bajo ángulo. El periodo de deformación de este sistema se inicia en el Mioceno y se mantiene activo hasta el presente (aunque la actividad disminuyó durante el Cuaternario). Evolucionó a lo largo de la plataforma continental bajo dos periodos tensionales, el primero durante Mio-Plioceno está caracterizado por baja tasa de subsidencia y sedimentación; el segundo durante el cuaternario está caracterizado por el incremento abrupto de la subsidencia llevando a la acumulación aproximada de 3500 m de sedimentos cuaternarios, corresponde al proceso más importante del antearco ecuatoriano (Witt & Bourgois, 2006, p. 20.).

2.5.1. Esquema estructural de Lions (1995)

Lions (1995) analiza solo la parte central del Golfo de Guayaquil, Isla Puná y parte sur de la Península de Santa Elena. Dando énfasis a dos direcciones estructurales, la zona de fallas normales Posorja, con dirección NW-SE y la zona de falla transcurrente dextral dirección NE-SW, entre la Isla Puná y

la Isla Santa Clara. Lo que buscaba Lions es la conexión estructural entre las direcciones, materializada por una estructura en "cola de caballo". Entre una y otra falla el movimiento y la dirección cambia progresivamente. La continuidad entre estructuras se exagera y parte erróneamente, ya que en estudios posteriores a detalles no guardan un patrón estructural. El esquema de Loins está dentro del marco general de correlación hacia el noreste con la falla Pallatanga, y al suroeste con la zona de subducción, pero estos elementos no son analizados. (Figura 2.1)

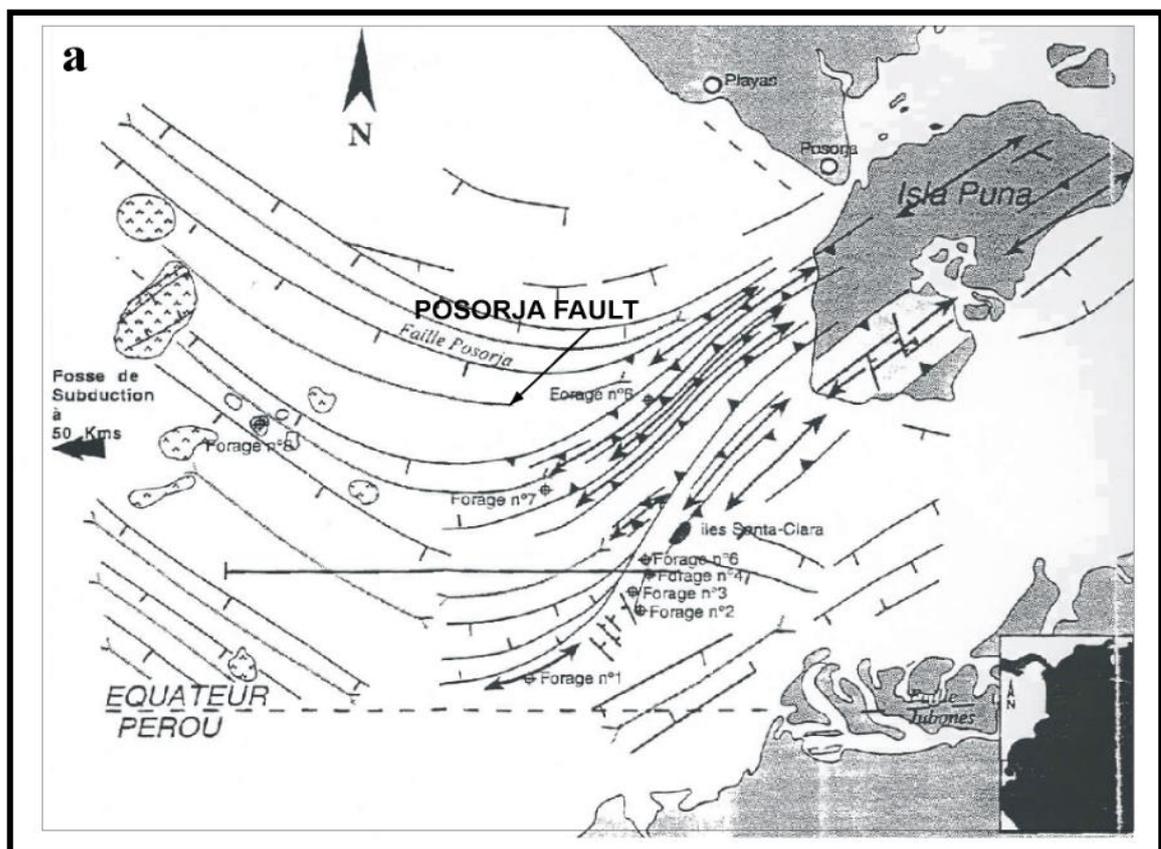


Figura 2.1. Esquema estructural de Golfo de Guayaquil. Fuente: Lions (1995).

2.5.2. Esquema estructural de Deniaud (1998, 1999, 2000)

El estudio está centrado al estudio de las Cuencas Neógenas de las costas ecuatorianas (Borbón, Manabí, Progreso y Golfo de Guayaquil). Son tres

los temas que se desarrollan aquí: 1) definición de las principales secuencias tectono-sedimentarias Neógenas; 2) el análisis geométrico y cinemático de la deformación, y 3) las etapas de deformación. Deniaud *et al.* (1999b) dedica una publicación para el Golfo de Guayaquil.

El esquema de Deniaud *et al.*, (1999) está limitado a los sectores de cuencas analizados, y no representa un modelo general del Golfo de Guayaquil.

El sistema de fallas transcurrente Puná-Santa Clara-Amistad-Zorrillo presenta en forma general en Z, con dirección NE-SW, presentando además dos sistema de fallas normales con dirección cercana a E-W ubicados en ambos lados: al oeste, el sistema de la falla Posorja-estructura de Esperanza que delimita las dos subcuencas Posorja y Esperanza; al este la falla Tumbes. Deniaud (1998) en su modelo no precisa la explicación de la abertura de la cuenca de Jambelí, ya que no analiza en detalle la parte este de la diagonal. En la parte oeste tampoco se analiza las relaciones entre las fallas Posorja y la diagonal Puná-Santa Clara-Amistad. En el esquema no son analizadas las conexiones continentales que son dos zonas mayores, la diagonal que se extiende supuestamente hacia la falla Pallatanga, y la falla Tumbes que se extiende hacia tierra en la falla Jubones. (Figura 2.2.)

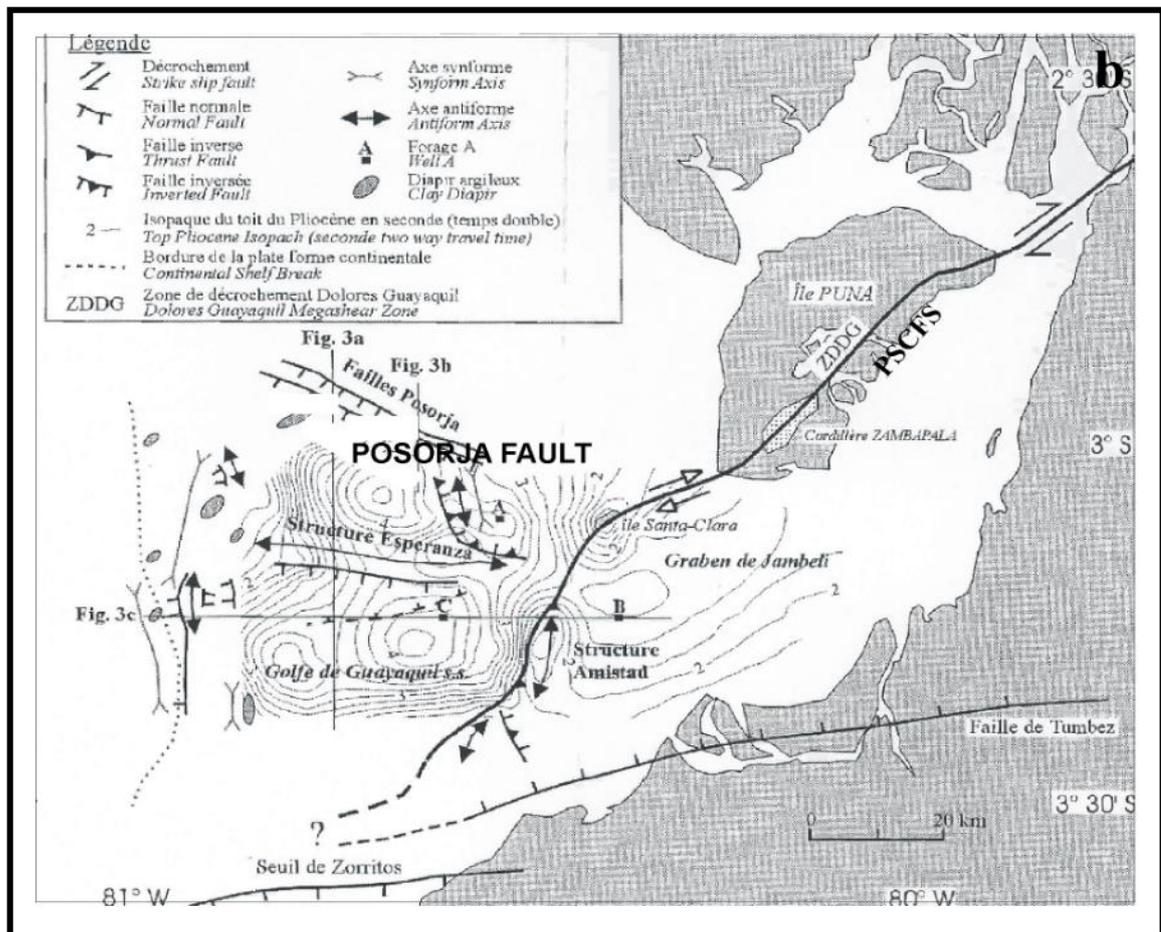


Figura 2.2. Esquema estructural del Golfo de Guayaquil. Fuente: Deniaud (1998).

2.5.3. Esquema estructural de Deckelman *et al.* (2008)

Deckelman *et al.*, (2008) presenta un modelo sintético. Los elementos son similares al de Deniaud, ya que este estudio no es dedicado específicamente a la estructura detallada del Golfo de Guayaquil (p. 56).

La falla Posorja junta el sistema transcurrente diagonal al sur de la Isla Puná, marcando un desvío hacia una dirección ENE-SWS frente a la salida del Canal del Morro. Deckelman no le da importancia a la falla Tenguel, ubicada en el esquema de Deniaud. El esquema propuesto indica que existe una conexión de todas las estructuras del Golfo marino del Guayaquil hacia la zona de la falla

Pallatanga, con el fin de indicar sobre la formación del Graben de Jambelí se marca una zona de falla NNE-SSW entre Machala al sur y Naranjal al norte, con movimiento normal dextral.

Deckelman *et al.*, (2008) propone que el Golfo empezó a existir como estructura de cuenca desde el Mioceno inferior, y probablemente desde el Oligoceno terminal (p. 49).

2.5.4. Esquema estructural de Witt (2007) y Witt et al. (2006).

Witt (2007) es el único que centra su trabajo a la interpretación estructural de la abertura del Golfo de Guayaquil, e incluye las conexiones que tiene la misma desde el fondo oceánico hacia el continente.

El esquema presentado por Witt es el más completo, donde incluye estructuras encontradas en los esquemas de Deniaud *et al.*, (1999a) y de Deckelman *et al.*, (2008). Pero la interpretación y el funcionamiento no siempre es idéntico a la de los autores anteriores, además que presenta la gran diferencia que en el esquema resultante las conexiones con el continente difieren de los modelos anteriores.

El modelo estructural de Witt para la parte central del Golfo de Guayaquil está basado en la presencia de dos sistemas de fallas de detachment de dirección E-W, los sistemas de falla diagonal de Puná-Santa Clara. Al sur el sistema de falla detachment de Tumbes marca el límite estructural del Golfo de

Guayaquil. El sistema de fallas diagonal Puná-Santa Clara bordea las cuencas de Esperanza y de Jambelí, lo que, según los autores, demuestra que la evolución de estas cuencas está estrechamente relacionadas con estos sistemas de fallas de detachement en profundidad. La mayor época de actividad tectónica importante en el Golfo es durante el Pleistoceno, con tres etapas tectónica: desde el Pleistoceno temprano hasta ~180 ka. la subsidencia es importante en las cuencas Jambelí y de Posorja, con funcionamiento sinistral de la zona de falla diagonal Puná-Santa Clara. Entre 180 y 140 ka una gran parte del Golfo se encuentra emergida. Desde 140 ka hasta el presente las deformaciones tectónicas se encuentran solamente a lo largo de las fallas normales bordeando la Cuenca Esperanza, en la falla Tenguel, en la diagonal Puná Santa Clara y en el sistema de fallas de Domito al oeste del Golfo de Guayaquil. Resalta una evolución de manera general para el Golfo más que local. (Figura 2.3.)

Witt en su más reciente trabajo propone que el origen de los sedimentos que conforman el Golfo de Guayaquil en su mayoría sería de los Amotapes (Perú). Esta propuesta la hace en base a la datación U-Pb que se le realizó a los zirconios recolectados en el levantamiento Santa Elena (Ecuador) y en Tumbes (Perú).

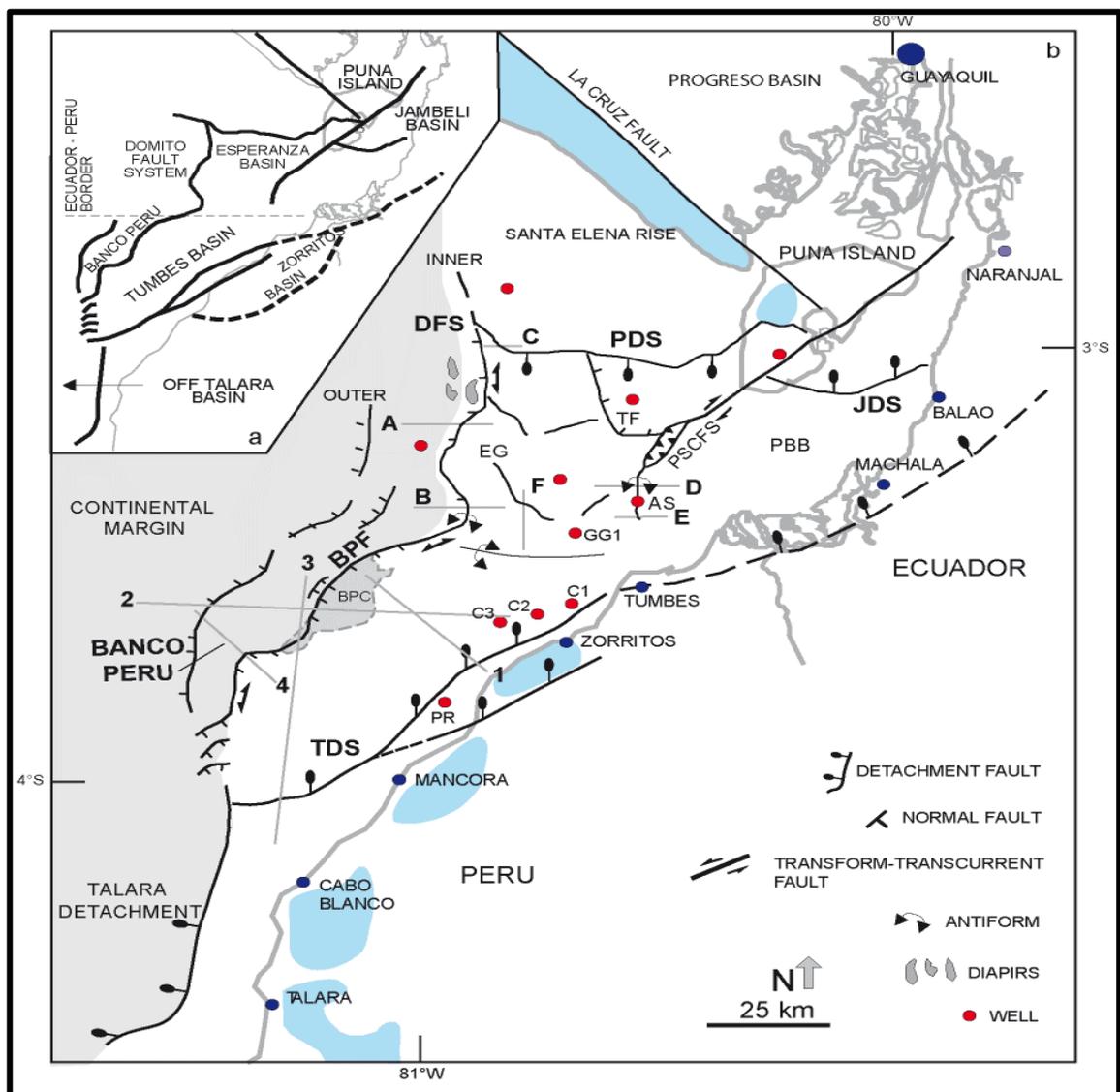


Figura 2.3. Esquema estructural del Golfo de Guayaquil. Fuente: Witt (2006).

2.5.5. Esquema estructural de Dumont y Santana (2009).

Dumont y Santana (2009) realizaron una recopilación bibliográfica con el fin de proponer un esquema que cubra todos los esquemas anteriores pero que éste tenga fundamentos técnicos-científicos. Donde destacan la conexión con el sistema de falla Pallatanga, pero diferenciando un segmento oeste que se conecta con la diagonal Amistad-Santa Clara-Puná-Isla Verde.

Ellos sugieren que el esquema que propone Witt (2007) para el sistema de detachement de Jambelí, puede generalizarse a todo el Golfo de Guayaquil recalcando que no todas las estructuras funcionan conjuntamente, unas antes que otras, y otras continuaron mientras otras cesaron.

2.5.6. Esquema estructural de Cobos y Montenegro (2010).

En el Mioceno Temprano el área del Golfo ya era una zona poco deprimida y con escasa movilidad del sustrato, se depositaron sedimentos de plataforma silicoclástica excepto sobre el Levantamiento de Santa Elena que se encontraba moderadamente emergido. Existían fallas normales con un rumbo aproximado N120° que más tarde constituirían las fallas de basamento y de borde de cuenca.

En el Mioceno Medio en el SE y en el extremo SO, inició su actividad un sistema de desplazamiento de rumbo de dirección NE-SW que posteriormente sería la componente principal del Sistema Transcurrente Guayaquil.

En el Mioceno Tardío comenzó a actuar el sistema de fallas de borde de cuenca ubicado al N (Fallas Normales del Norte), lo que controló la distribución sedimentaria. La componente principal del Sistema Transcurrente Guayaquil ya generaba estructuras en flor positivas, a la vez que otra componente transcurrente ubicada al O se desarrolló durante esta época.

En el Plioceno la actividad de las Fallas Normales del Norte aumentó, en especial el sistema de rumbo N120° y buzamiento al SO (Fallas Posorja),

provocando que el depocentro se ubique inmediatamente al SO de estas fallas. En el frente de deformación de las fallas normales comienzan a desarrollarse fallas inversas y diapiros de arcilla. La componente principal del Sistema Transcurrente Guayaquil continuó su actividad durante esta época.

En el Pleistoceno Temprano continuó la actividad de las Fallas Normales del Norte, de las fallas inversas en su frente de deformación, de la componente principal del Sistema Transcurrente Guayaquil y el desarrollo de diapiros. Al inicio de esta época comenzó su actividad la componente del NE del Sistema Transcurrente Guayaquil generando estructuras en flor positivas.

En el Pleistoceno Tardío y el Reciente en general la actividad de las fallas disminuye. El mecanismo que generó la apertura del Golfo probablemente se relacione con el choque de la Cordillera Carnegie con la trinchera ecuatoriana hace 15 Ma en el Mioceno Medio (Spikings *et al.*, 2001, p 65), producto de lo cual se comenzaron a desplazar hacia el NE los terrenos oceánicos alóctonos que forman el basamento de la costa ecuatoriana generando el movimiento transcurrente dextral regional (Gustcher *et al.*, 1999, p. 260).

CAPÍTULO III

RIESGOS GEOLÓGICOS EN EL LITORAL ECUATORIANO

3.1. CONCEPTOS BÁSICOS

Riesgos

Se considera riesgo a toda condición, proceso o evento que pueda causar heridas, enfermedades, pérdidas económicas o daños al medio ambiente.

Riesgos Geológicos.

Todo aquel fenómeno natural que se genera por eventos geodinámicos internos como externos, que puedan causar afectaciones a la población, a la economía y al medio ambiente.

En la evaluación de los riesgos geológicos se debe considerar los siguientes factores: Peligrosidad, la Exposición y la Vulnerabilidad.

$$R = P.E.V$$

(Riesgo = Peligrosidad x Exposición x Vulnerabilidad)

-La peligrosidad (P) es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno. Depende del propio evento y para determinarla hay que tener en cuenta:

- Su distribución geográfica.
- El tiempo de retorno (frecuencia con la que se repite).
- Su magnitud o grado de peligrosidad.

Frecuentemente no es posible reducir la peligrosidad de un riesgo natural, ya que no se puede evitar que estos ocurran. Más adelante, cuando se trate los

principales riesgos naturales se observarán las medidas que se pueden adoptar para reducir su peligrosidad cuando sea posible.

- La exposición (E) es el número total de personas o bienes sometidos a un determinado riesgo. La superpoblación o el hacinamiento incrementan más el riesgo que la peligrosidad del proceso en sí. La exposición a un riesgo se puede valorar de dos formas:

- Social: número de víctimas potenciales.
- Económica: bienes expuestos.

Se puede reducir la exposición a un riesgo mediante la ordenación del territorio, limitando o impidiendo la ocupación de las zonas de riesgo, o mediante el diseño de estrategias de emergencia (protección civil, sistemas de vigilancia).

– La vulnerabilidad (V) representa el porcentaje, respecto al total expuesto, de víctimas mortales o de pérdidas de bienes materiales provocadas por un determinado evento. Existen medidas destinadas a reducir este factor, como el diseño, el empleo de materiales y técnicas adecuados, etc.

3.2. RIESGOS GEOLÓGICOS EN LAS COSTAS SUDAMERICANAS

Son varios los riesgos a los que se ve afectado el litoral. En cuanto a las zonas emergidas se pueden ver sometidas por peligros geológicos (sismicidad, vulcanismo, deslizamiento de taludes e inundaciones). Los agentes marinos (viento, oleaje, mareas y corrientes) que afectan al litoral son desencadenante de grandes marejadas que a su vez son asociadas con la variación que tiene el

nivel del mar. Uno de los peligros con mayor afectación a los que se pueden ver expuestas las zonas costeras son los tsunamis, generados por diversas fuentes, las más común son los terremotos. Estos fenómenos tienen como resultados dos fundamentales riesgos a los que se pueden ver afectadas las zonas litorales: inundaciones y erosión/acreción costera.

Las condiciones geológicas y geomorfológicas de las costas son pilares fundamentales para determinar la incidencia de los procesos en las zonas litorales. Los diferentes tipos de costas presentaran diversas respuestas ante estos fenómenos. En costas donde existen playas sin cordones litorales mostrará una susceptibilidad a sufrir inundaciones y erosión costera, todo lo contrario a que si fuera una costa acantilada, la cual es más propensa a que sufra un deslizamiento de talud. Además se debe de tomar en cuenta la invasión del hombre en las costas con procesos de urbanización, desarrollo turístico e industrial, que pueden influenciar en el funcionamiento del litoral y la incidencia de los riesgos.

Las costas sudamericanas son continuamente expuestas a riesgos geológicos ya que éstas se encuentran en el Cinturón de Fuego, que se caracteriza por una gran actividad geodinámica. La tectónica de placa junto a la dinámica costera juega un papel sumamente importante para determinar cuáles son estos riesgos, las zonas vulnerables y las medidas de prevención en el momento de una posible catástrofe. En Sudamérica existen registros bibliográficos de grandes sucesos sísmicos que fueron los que generaron

tsunamis de consideraciones catastróficas (Perú, 1946, 1952, 1957, 1964, 1974; Chile, 1868, 1927, 1949, 1960; Colombia, 1979, Ecuador 1906), los cuales son considerados como los fenómenos más destructivos dentro de los riesgos litorales.

Debido a la dinámica costera, las características geológicas y a geomorfología de las costas ecuatorianas, estas se pueden ver expuestas a peligros geológicos, por lo que es imprescindible evaluar las zonas vulnerables a los mismos.

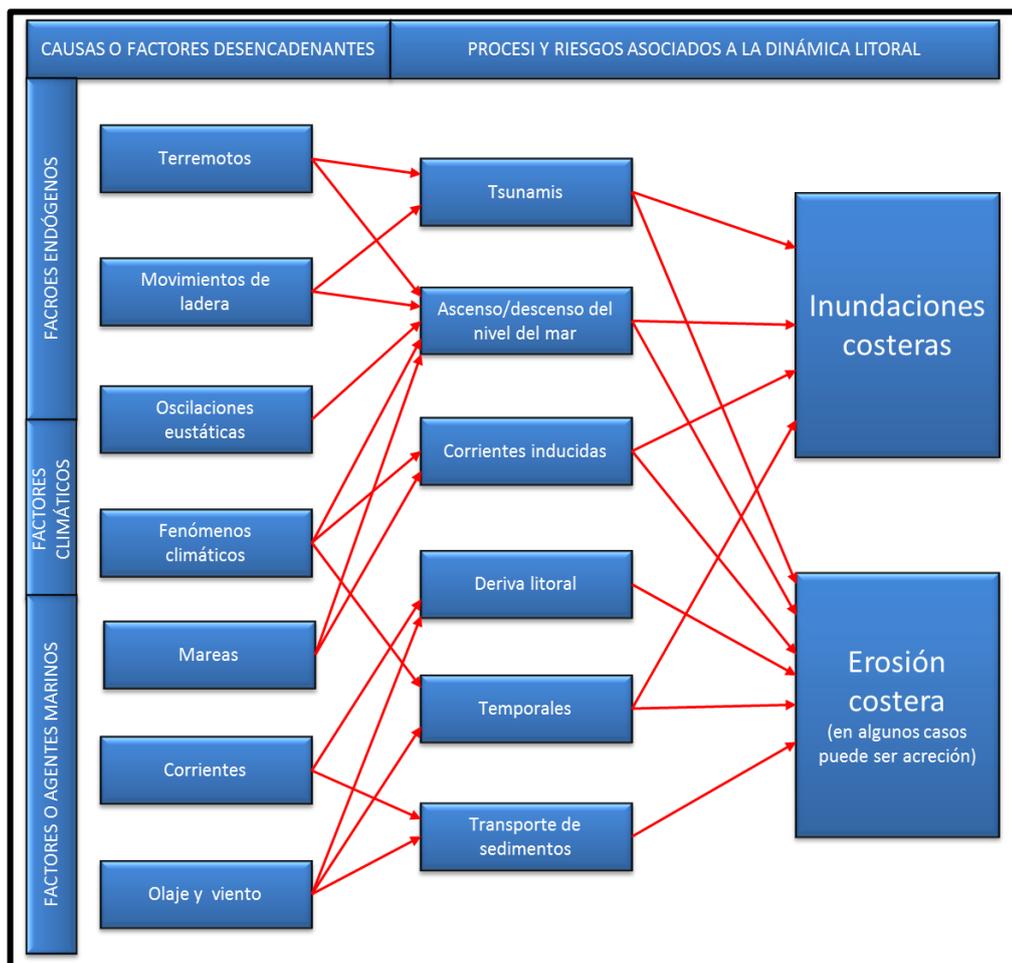


Figura 3.1. Esquema de riesgos asociados a la dinámica litoral y factores implicados.
Fuente: González (2012).

3.3. PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL LITORAL ECUATORIANO.

El Ecuador se encuentra sometido a varios peligros geológicos debido a su posición geográfica, que puede afectar de una manera leve o drástica, los cuales pueden representar problemas socio-económicos. Dentro de los cuales puede ser: eventos volcánicos, eventos sísmicos, inundaciones y movimiento de masas.

3.3.1. Peligrosidad por inundaciones.

Uno de los factores que mayor incertidumbre causa en la población ecuatoriana es la etapa invernal y más aún el fenómeno de El Niño que tiene un periodo recurrente de 2 a 7 años, el cual es producto del calentamiento de las aguas del Pacífico que influyen en la intensidad de las lluvias.

En el Ecuador, la región que mayormente se ve afectada por inundaciones es la litoral, debido a la morfología que presenta, que en su mayoría son planicies adyacentes a ríos que se inundan con una gran frecuencia cuando llega la época invernal o aún más cuando se hace presente el fenómeno de El Niño. Además de que en estos afluentes existe la acumulación de sedimentos lo que impide el flujo del cauce produciendo así desbordamientos. La población que se ve afectada por esta problemática es toda aquella que se asienta en las orillas y más cuando se trata de rellenos hidráulicos.

3.3.2. Peligrosidad por sismicidad.

Frente a la región costera ecuatoriana la Placa de Nazca subduce a la Placa Sudamericana. Debido a la subducción de las placas, se acumula energía y se libera de manera súbita provocando los sismos. La magnitud de los sismos va a depender de la cantidad de energía liberada. Representando un gran problema para las poblaciones situadas a lo largo del Cinturón de Fuego, ya que en estas zonas las origina sismos de grandes magnitudes como al que se vio expuesto Sumatra en el 2004, el cual además causo un tsunami, que produjo la muerte de aproximadamente 230 000 personas.

El territorio ecuatoriano se ve afectado por un gran número de fallas geológicas superficiales, producto de subducción.

Estos sistemas de fallas afectan principalmente a las poblaciones ubicadas en el Valle Interandino, en donde en tiempos históricos han ocurrido sismos de gran relevancia que han provocado muertes y pérdidas materiales de importancia. Como ejemplos se pueden mencionar los sismos de Riobamba de 1767, Ibarra 1868 y Ambato 1949 (Rivadeneira *et al.*, 2007, p. 88). Tanto el fenómeno de subducción como los fallamientos superficiales son las dos principales fuentes generadoras de los terremotos ecuatorianos (García, 1997).

3.3.3. Riesgo tsunamigénico en el Golfo de Guayaquil.

Los terremotos en las placas oceánicas tienen la particularidad de generar un tipo de energía que se ve reflejada en la creación de ondas que pueden viajar

miles de kilómetros y que al arribar a las costas se convierten en olas gigantes, que pueden llegar a destruir poblaciones enteras. Siempre que la morfología de la costa y la intensidad del evento y por lo tanto del tsunami así lo permitan. Este tipo de olas anormales son conocidas como Tsunamis. Cruz (2010) señala que frente a las costas ecuatorianas sucedieron varios de estos eventos que tuvieron como consecuencia tsunamis frentes a las costas de Esmeraldas, Manabí, Guayas y Santa Elena, que afortunadamente se originaron en una época de menor población y desarrollo que en la actualidad.

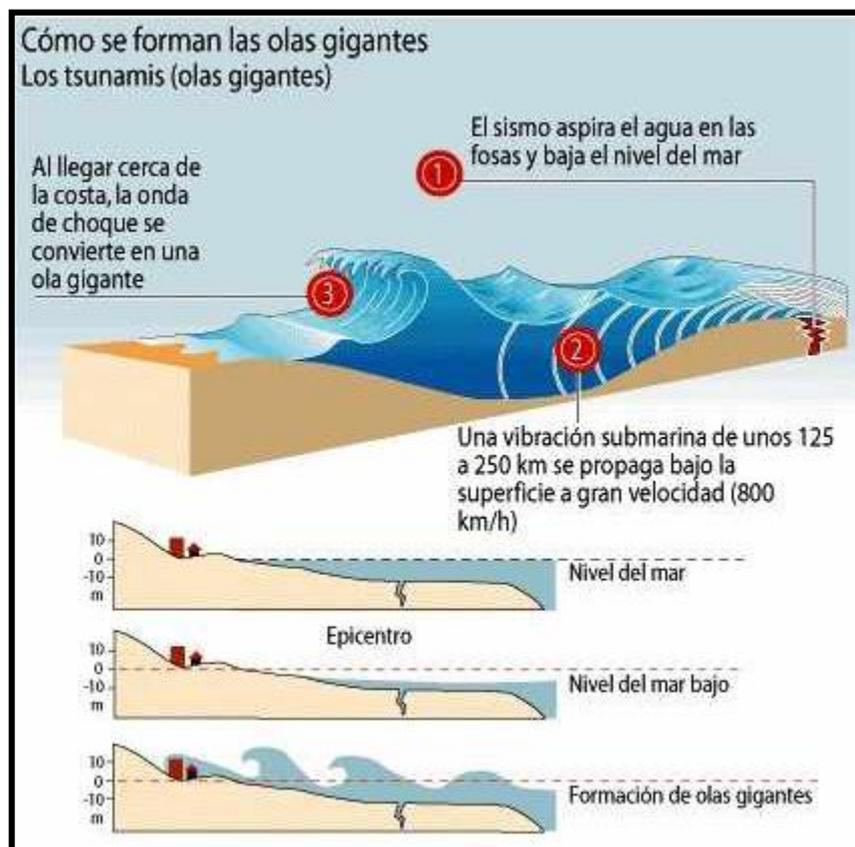


Figura 3.2. Formación de las olas. Fuente: SHOA (2004).

Estos son los 6 eventos tsunamigénicos que históricamente se registraron en el Ecuador según Cruz (2010):

1. 1906, 03 de enero: Provincia de Esmeraldas, entre San Lorenzo y Tumaco. (Colombia). Sismo generador de magnitud 8,8 Richter.
2. 1933, 02 de octubre: Provincia de Guayas, en el mar, frente a Salinas. (Puntilla). Sismo generador 6,9 Richter.
3. 1953, 12 de diciembre: Provincia de El Oro, en el mar, frente a Puerto Bolívar. Sismo generador 7,8 Richter.
4. 1958, enero: Provincia de Esmeraldas, en el mar, frente a Esmeraldas. Sismo generador 7,8 Richter
5. 1979, 12 de diciembre: Provincia de Esmeraldas, en el mar, frente a Esmeraldas. Sismo generador 7,8 Richter.
6. 1998, 4 de agosto: Provincia de Manabí, en el mar, frente a las costas de Boca de Briceño. Sismo generador 6,8 Richter.

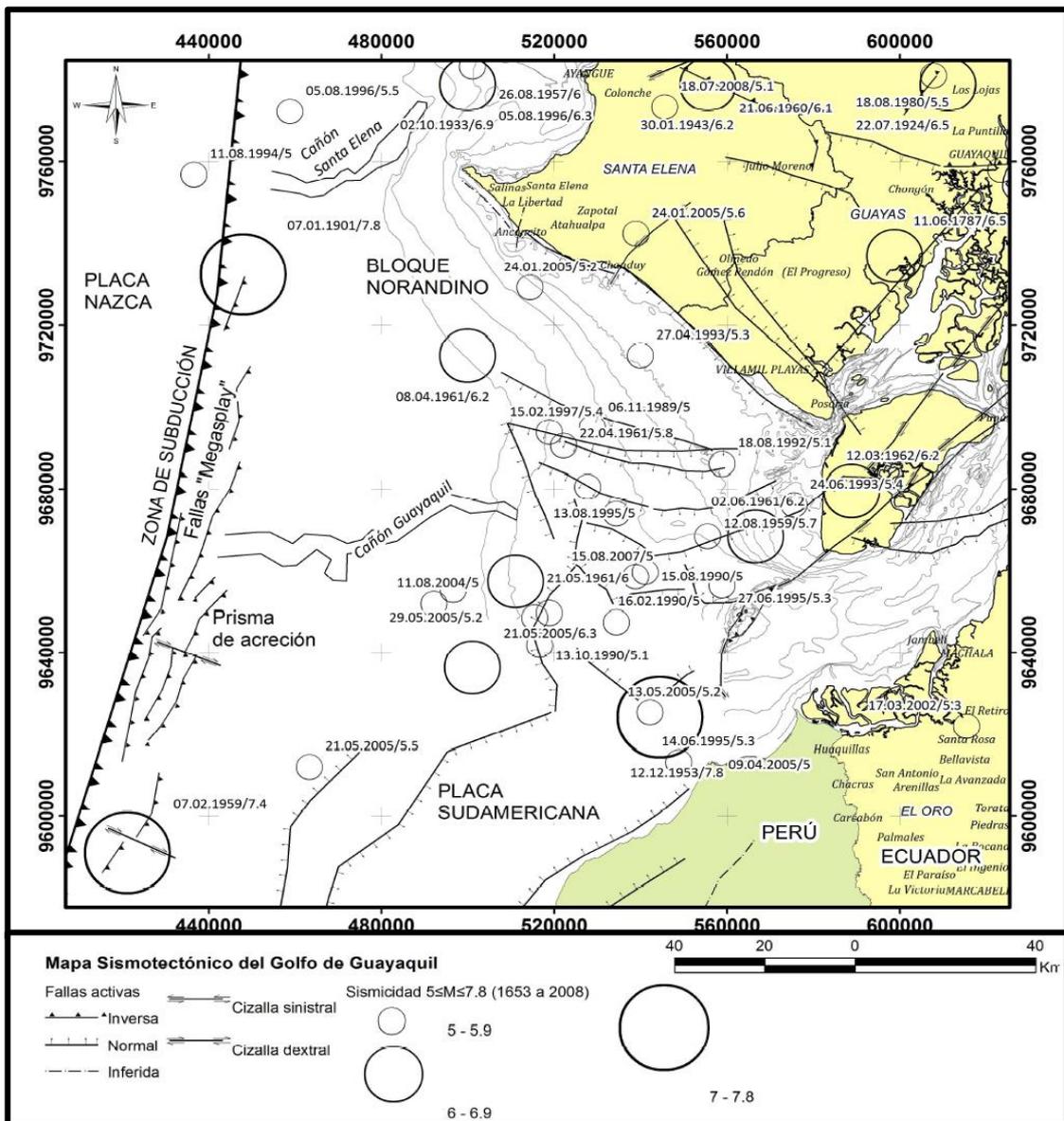


Figura 3.3. Representación georeferenciada de los eventos tsunamigénicos en el Ecuador.

Fuente: Espinoza (1992).

Con este registro histórico de eventos tsunamigénicos en el Ecuador se puede concluir que la provincia que mayormente se ha visto afectada por este tipo de eventos es Esmeraldas.

Chunga (2013) a diferencia de Cruz (2010) realiza un análisis paleosismológico en el Golfo de Guayaquil, obteniendo como resultado del estudio de núcleos de sedimentos la evidencia de 3 tsunamis, donde 2 de ellos no tienen un registro histórico, estos resultados los obtuvo mediante análisis biológicos, químicos, estratigráficos y sedimentológicos que son aquellos que proporcionan criterios esenciales y aplicables para los ambientes sedimentarios dominantes de las franjas costeras del Golfo de Guayaquil. Elaboró un mapa con los eventos sísmicos en el Golfo de Guayaquil a través de catálogos como: el del Centro Regional de Sismología para América del Sur, National Earthquake Information Center y el de la Escuela Politécnica Nacional (p. 12).



Mapa 3.1. Mapa Sismotectónico del Golfo de Guayaquil. Fuente: Chunga (2013)

3.3.4. Peligrosidad por deslizamientos.

Los deslizamientos son movimiento de masas, estos movimientos se ven afectados por la gravedad, que se desprenden de las montañas, pendientes o laderas. Los agentes desencadenantes son: alteraciones de las propiedades mecánicas de los materiales, vibraciones, movimientos sísmicos, erosión de taludes por viento y agua, la ocurrencia de otros deslizamientos junto, bajo o

sobre el mismo, deforestación y remoción de vegetación, cortes, desbanques, rellenos y en general el mal uso del suelo y del agua por parte de la población. (STGR, 2010, p. 110). El agente erosivo que mayor influencia tiene en este fenómeno es el agua, por lo que es en la etapa invernal existe un alto índice de este tipo de evento.

En la zona litoral este peligro relacionada con los relieves costeros y que se ve acentuado por la acción de los procesos litorales, fundamentalmente el oleaje. Se debe considerar todos los factores relacionados a la dinámica litoral (Del Río *et al*, 2009, p. 83).

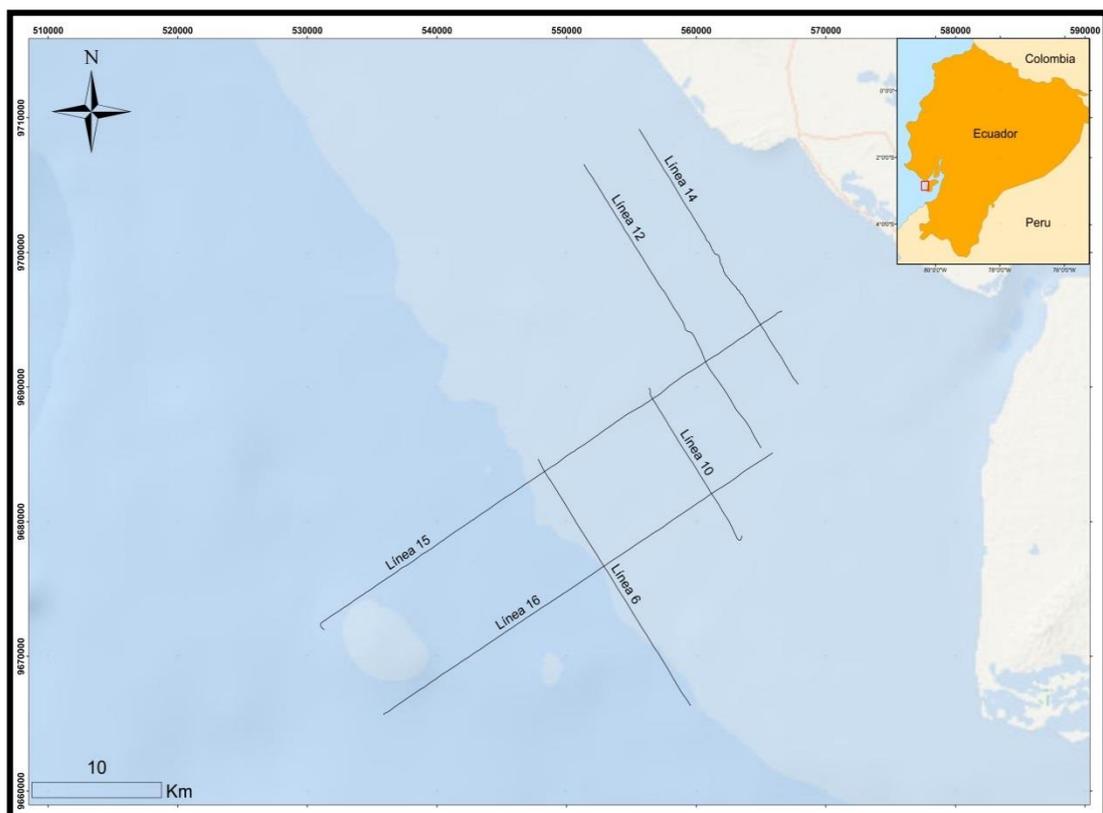
Los deslizamientos en la zona marina pueden acarrear la generación de tsunamis siempre que la cantidad de masa en movimiento sea la adecuada para generar una onda tsunamigénica.

CAPÍTULO IV

INTERPRETACIÓN DE LÍNEAS SÍSMICAS Y BATIMETRÍA MONO-HAZ

4.1. UBICACIÓN DE LÍNEAS SÍSMICAS.

Las líneas sísmicas están situadas en un mallado dentro en el Golfo de Guayaquil al sur-oeste de General Villamil-Playas



Mapa 4.1. Ubicación de las líneas sísmicas. **Fuente:** Base mapa de ArcGIS.
Elaborado por Autor.

4.2. ADQUISICIÓN SÍSMICA

La adquisición de la información digital de alta resolución se llevó a cabo utilizando propagación sísmica, basada en una fuente de poder de 6 kJ, una fuente de chispa de 800 puntas, 02 canales utilizando 02 cadenas de hidrófonos

(Geo-Sence Streamer) con intervalo entre cadena de 1 metro y 01 unidad de base de grabado.

Una breve descripción de los procedimientos de instalación del equipo de propagación sísmica a bordo del buque "B.A.E. Orión", así como pruebas funcionales, principios básicos, de interfaz y de control de calidad se detalla a continuación.

4.2.1. Fuente sísmica

La fuente utilizada para este estudio fue de 800 puntas (Geo-Source Sparker), alimentado por una fuente de 7kJ (Geo- Spark), fabricado por "Geo-Marine Survey Systems"

El Geo-Source Sparker 800 está específicamente diseñado para las condiciones de levantamiento costa afuera entre 5 a 2500 m de profundidad.

El sistema Geo-Source Sparker 800, es capaz de adquirir en resolución muy alta (<30 cm) perfiles sísmicos de las "superficies" de los sub-estratos inferiores. La penetración efectiva por debajo del lecho marino puede exceder de 400 m dependiendo del nivel de energía usada, la geología y la profundidad del agua.

La fuente se activa a tiempo utilizando el Mini-Trace II 24 bit (Sistema de grabado del Geo-Marine Survey System), y dos canales de las cadenas de hidrófonos fueron desplegadas para el control de calidad de la señal de origen.

4.2.2. Cadena de hidrófonos mono-canal

La cadena de hidrófonos para este levantamiento fue la "Geo-Sense Streamer". El equipo se componía de dos cadenas de 24 elementos y una cadena de 8 elementos. La cadena se compone de un cable de remolque de 100m, con diámetro de 11mm, con una zona activa de 2,8 para 8 elementos y 9,2 para 24 elementos. La boya de cola, se coloca al final con una cuerda.

4.2.3. Sistema de grabación digital

El "Mini Trace II" (Geometrics) es el único sistema de grabación digital disponible actualmente en el mercado, adecuado para la grabación de la señal de baja frecuencia del mono canal multi-chispa usado en este levantamiento. La configuración mono canal utilizada incluyó un equipo Mini Trace y una computadora portátil de adquisición, con todo el funcionamiento del sistema y las funciones de adquisición fueron manejadas por el software.

El Mini-Trace II es un modelo de adquisición de muy alta resolución, 24-bit sigma-delta, grabador sísmico, que se puede conectar a cualquier ordenador portátil o computadora de escritorio, adecuado mediante una conexión USB.

Los datos de navegación se adquieren a través de una conexión LAN desde la PC de control.

El módulo contiene dos canales independientes con dos disparadores programables de manera independiente lo que permite sincronizar dos fuentes sin interferencia (modo asíncrono).

En el modo asíncrono: sparker + pinger o sparker + pistola de agua, pero también sparker + barrido lateral se puede activar de forma que se pueden ver sin la interferencia de la señal Sparker en los datos de sonar de barrido.

Todos los archivos de datos en bruto se registran en formato estándar SEG Y, con muestras codificadas en números enteros y también puede exportarse en formato XTF (16 bits). Además, del registro extensivo en archivos de textos de todos los eventos de adquisición, correcciones manuales, primas y los datos procesados de navegación.

4.2.4. Procedimiento de control de calidad en línea.

El control de calidad en línea se llevó a cabo mediante dos sistemas independientes:

- A través de las funciones estándar de visualización en tiempo real del módulo Mini-Trace II y del software, se obtuvo un trazo cerca, disparos ploteados, el nivel de ruido, el monitor de disparo, y la visualización del espectro de la señal.

- A través de la señal de mono canal, que fue visualizada y registrada por el Mini-Trace II, el software GeoSuite ejecuta la adquisición. Este sistema está optimizado para la adquisición y el control de calidad en tiempo real de los datos de chispa del Geo-Source Sparker y permite el rápido diagnóstico de problema con la geometría de la fuente y la estabilidad de la señal.

4.2.5. Sumario de los parámetros de adquisición

Registrador Mini-Streamer:	Mini Trace II
Frecuencia de muestreo:	0,1 ms
Longitud de registro:	Aguas someras: 1750 ms 0.3s rango disparo Aguas profundas: 1750 ms 6,0s rango disparo
Formato mono canal:	SEG-Y
Mono canal Streamer:	Mono canal Mini-Streamer (2,8 m activo)
Profundidad:	25cm
Hidrófonos:	AQ 2000, 8 elementos a 35cm de distancia
Mono canal Streamer:	Mono canal Mini-Streamer (9,2m activo)
Profundidad:	25 cm
Fuente:	GEO-SOURCE 800 Sparker
Profundidad de remolque fuente:	30 cm
Fuente Umbilical:	50 m
Intervalo SP:	Aguas someras: aproximadamente 6 m Aguas profundas: aproximadamente. 12 m
Amplitud:	2 bar metro, peak to peak

Poder de operación: 2000J / 2500J / 3000J / 3500J / 4000J

Rango de disparo: 0,5 sec. / 6, sec.

Fuente de poder: GEO-SPARK 700.

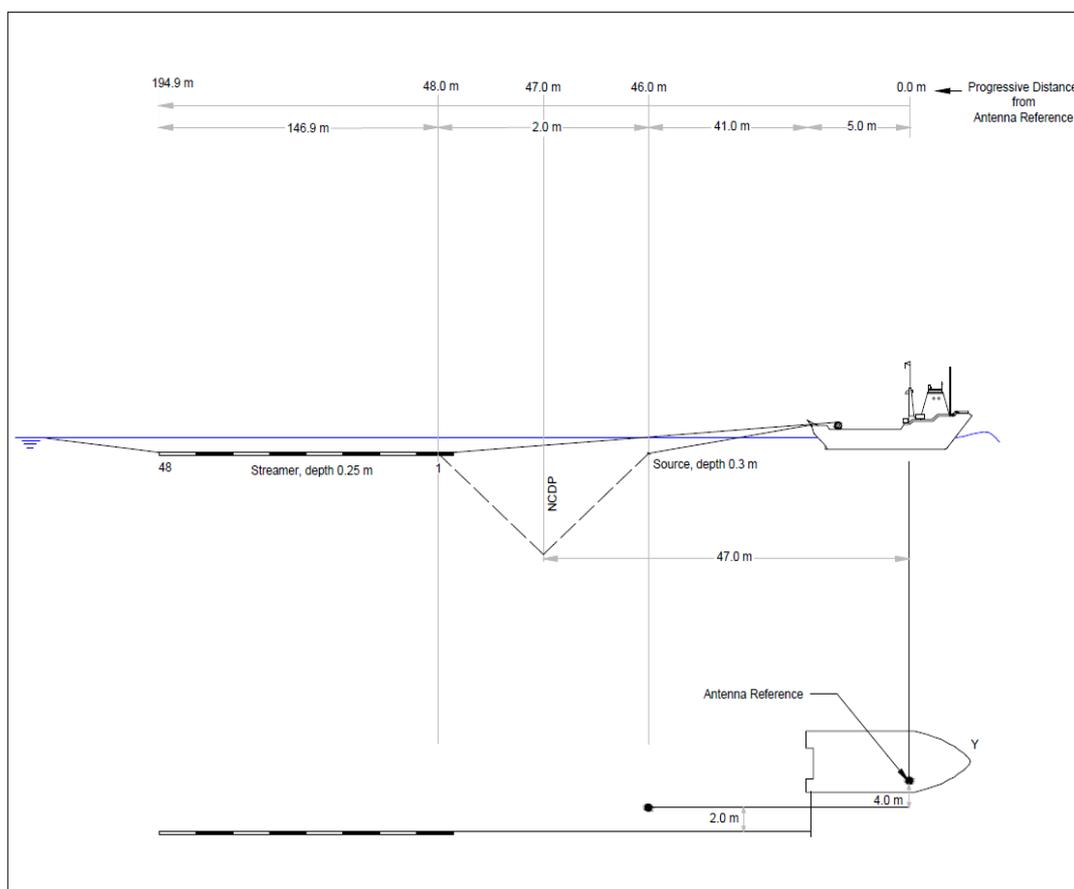


Figura 4.1. Diagrama de recolección de datos sísmicos. Fuente: INOCAR (2014).

4.2.6. Sistema de posicionamiento de superficie

El sistema de posicionamiento de superficie para determinar la posición de los puntos de disparo fue el GPS Trimble 5700.

4.2.7. Buque de investigación

Nombre: B.A.E. "Orión"

Call sign: HIDORI

Bandera: Ecuatoriana

Clase: Buque de investigación

Eslora:	70.21 m	Manga:	10.6 m
El. máximo:	7.4 nudos		

4.3. ANÁLISIS SÍSMICO

El análisis sísmico se lo llevó a cabo a partir de 6 perfiles sísmicos. La distribución de las líneas se presenta en cuadrícula, lo que permite realizar un análisis más acertado y correlacionar los perfiles entre sí.

4.3.1. Descripción de unidades y facies

Dentro del análisis sísmico que se realizó se logró identificar 8 unidades, dentro de estas unidades varias facies. Las unidades P1, P2, P3, P4, P5 Y P6 se las puede observar de una manera mejor configurada y ordenada, tomando en cuenta que la unidad P1 es la más antigua y la P6 la más joven. Mientras las unidades T1 y T2 no poseen un orden adecuado. Cabe destacar que no se determinaron espesores de facie sino el tiempo doble de viaje.

Unidad P1: Es la base de las unidades observadas, por lo cual no se puede definir su tiempo doble promedio debido a que no se logra divisar su base. Se observa al NNW del perfil OS01-GDG-0713-L6, siendo el único donde se observa esta unidad, entre los CDP 0-2250. Con una configuración paralela, la que permite interpretar que la energía de deposición fue baja. Las terminaciones de los reflectores en el límite inferior no se lograron determinar debido al múltiple, mientras que el límite superior corresponde a una superficie truncada. Además se puede observar un posible paleocanal.

Unidad P2: Se la observa al NNW del perfil OS01-GDG-0713-L6, siendo el único donde se observa esta unidad, entre los CDP 0-2150 con un tiempo doble de 10.5 ms, con una configuración más próxima a la sigmoidea, lo que es un indicador de variaciones de nivel del mar relativamente rápido. Este tipo de configuración permite interpretar que la energía de deposición fue relativamente baja. Las terminaciones de ambos límites corresponden a superficies truncadas. Se marca la existencia de un posible paleocanal entre los CDP 2150-2600.

Unidad P3: Comprende las facies UP3f1 a UP3f3, se las observa en los perfiles OS01-GDG-0713-L6, OS01-GDG-0713-L10, OS01-GDG-0713-L15 y OS01-GDG-0713-L16, encontrando una correlación en la intersección de los perfiles antes mencionados. El tiempo doble es muy variable a lo largo de la zona de estudio.

En alguno de los perfiles donde se observan las 3 facies se las puede diferenciar de una buena manera.

❖ Facies UP3f1: Los reflectores se componen de una frecuencia media, continuidad media, y con una amplitud baja. Presenta una depositación paralela, se logra observar en los perfiles OS01-GDG-0713-L6, OS01-GDG-0713-L10 y OS01-GDG-0713-L16.

❖ Facies UP3f2: Los reflectores se componen de una frecuencia media, continuidad media, y con una amplitud media a alta. Presenta una depositación

paralela, se logra observar en los perfiles OS01-GDG-0713-L6 y OS01-GDG-0713-L10.

❖ Facies UP3f3: Los reflectores se componen de una frecuencia media, continuidad media, y con una amplitud media a baja. La configuración de ésta facie se presenta sigmoidal, se logra observar en los perfiles OS01-GDG-0713-L6, OS01-GDG-0713-L10 y OS01-GDG-0713-L15.

Unidad P4: Conformada por 3 facies muy bien marcadas. En esta unidad se puede observar un paleocanal en la facie más superficial. No existe mayor deformación entre las facies, más que la deformación regional de la unidad. Tiene una extensión regional, por lo que es difícil definir su terminación inferior, en las zonas donde se definieron las terminaciones se logró promediar un tiempo doble de 19 ms.

❖ Facies UP4f1: Los reflectores se componen de una frecuencia baja, continuidad baja y una amplitud baja. Presenta una depositación paralela, se logra observar en los perfiles OS01-GDG-0713-L14 y OS01-GDG-0713-L14.

❖ Facies UP4f2: Esta facie se observan reflectores paralelos. Las características que presentan sus reflectores son; amplitud y continuidad bajas además de una frecuencia media. Descansa sobre la facie UP4f1.

❖ Facies UP4f3: Los reflectores se componen de una frecuencia baja y continuidad baja, con una amplitud media. Presenta una depositación paralela.

Unidad P5: Está conformada por 3 facies, que no se logran diferenciar de una manera óptima por la resolución. Presenta una configuración subparalela, permitiendo interpretar como una unidad de energía baja en el momento de la deposición. Posee una pequeña deformación en la parte central. El tiempo doble promedio es de 7 ms.

Unidad P6: Es la unidad más superficial del perfil presente en dos sectores, se la observa a lo largo de toda la línea, con un tiempo doble promedio 16 ms. Presenta una configuración paralela, con lo cual se asume que su energía de deposición es muy baja. Una particularidad que se puede observar en esta unidad es que el límite inferior, en la zona central del perfil presenta onlap y descansa sobre una unidad de mayor energía de deposición.

Unidad T1: Conformada por 2 facies, una más extensa y muy marcada mientras que la otra es más sectorial y con configuración geométrica muy distinta. Una presenta una configuración chaotic mientras que la otra es sigmoidal, asumiendo que la energía de deposición es mayor en este sector. Se la encuentra entre los CDP 3400-7500, se presenta sólo en el perfil OS01-GDG-0713-L6.

Unidad T2: Se la encuentra entre los CDP 6350-8500, con una configuración sigmoidal y con terminaciones onlap, con lo que se asume que la energía de deposición es media, sólo se logra observar en el perfil OS01-GDG-0713-L6.

Tabla 4.1. Características de las unidades.

Unidad	Facie	Continuidad	Amplitud	Frecuencia	Configuración Geométrica	Terminaciones	Interpretación
P1		media	baja	baja	subparalela	Límite superior superficie truncada	
P2		baja	baja	baja	sigmoidal	Límite inferior superficie truncada, límite superior superficie truncada	Posible canal relleno por sedimentos que corresponden a la unidad superior.
P3	f1	media	media	baja	paralela	Límite inferior superficie truncada, límite superior concordante.	Posible canal
P3	f2	media	media	media-alta	paralela	Límite inferior concordante, límite superior superficie truncada.	
P3	F3	media	media	Media-baja	sigmoidal	Límite inferior onlap, límite superior superficie truncada	Relleno del canal
P4	f1	baja	baja	baja	paralela	Límite inferior superficie truncada, límite superior concordante.	Canal
P4	f2	baja	baja	media	paralela	Límite inferior concordante, límite superior concordante.	
P4	f3	baja	baja	media	paralela	Límite inferior superficie truncada, límite superior concordante.	Paleocanal
P5		media	media	media	subparalela	Límite inferior concordante, límite superior superficie truncada.	
P6		alta	alta	media	paralela	onlap	
T1	f1	baja	media	media	chaotic	Límite inferior onlap, límite superior superficie truncada	
T1	f2	alta	alta	media	sigmoidal	onlap	
T2		alta	alta	media	paralela	Límite inferior onlap	

Fuente: Elaborada por Autor (2015).

4.3.2. Edad relativa.

La última glaciación se dio hace 21 ka, donde el nivel del mar descendió aproximadamente 120 m con referencia al actual, dentro de lo que se conoce como cambios eustáticos globales.

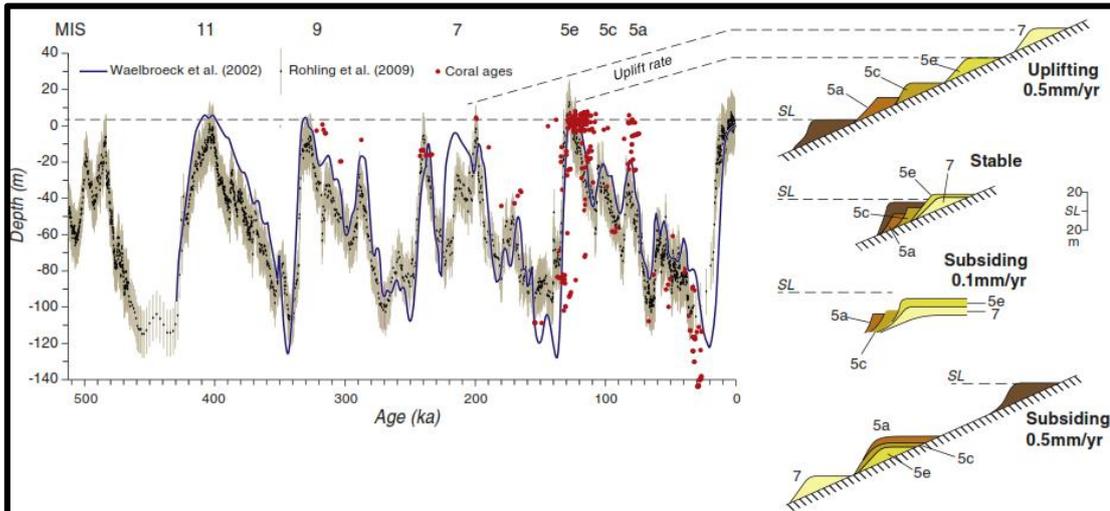


Figura 4.2 .Esquema de representación de las terrazas de arrecifes durante los últimos 500 ka. Fuente: Recopilación de Rolling *et al.*, 2009, 2012; Waelbroeck *et al.*, 2002 y Medina-Elizalde, 2013.

En el perfil L15 (Anexo 1) se puede observar una superficie truncada muy bien marcada, correspondiente al límite inferior de la facies UP3f3, por lo que se puede asumir que es superficie erosionada durante la última glaciación, por agentes sub-aéreos, teniendo en cuenta que dicha erosión pudo haber sido tan agresiva que en el CDP 3935 se observa el límite superior de la facie UP3f2. El cálculo de la edad relativa para esta superficie se la realizó por medio de la siguiente formula:

$$Profundidad = \frac{TWTT * Velocidad}{2}$$

Profundidad: Profundidad real a la cual se encuentran las facies

TWTT: Tiempo doble en la que la onda viaja por las facies.

Velocidad: Velocidad a la que viaja la onda por las facies.

Utilizando velocidades de propagación estándar para la columna de agua y para sedimentos, de 1500 y 2000 m/s respectivamente, se calculó que corresponde a una profundidad ~ 120m, que es la profundidad a la que descendió el mar hace 21 ka.

4.3.3. Levantamiento Santa Elena.

Existe un levantamiento que es notorio en la totalidad de la zona de estudio, las unidades identificadas en los diferentes perfiles tienen correlación lateral.

Este levantamiento fue identificado por Witt (2006), señalando que es controlado por el sistema de fallas de desprendimiento Posorja, que son normales de bajo ángulo (p. 18).

Por la uniformidad de los sedimentos se puede afirmar que la deformación de la zona es activa, y que esta deformación tiene inicio en el Pre-Cuaternario. Los límites del levantamiento con la Cuenca Esperanza están regidos por el desprendimiento Posorja que muestra el arrastre de los sedimentos.

4.4. ADQUISICION DE DATOS BATIMÉTRICOS

Para la adquisición de los datos batimétricos se utilizó una ecosonda Odom modelo Echotrack DF 3200 MKIII, la cual emite una onda que se refleja

en el fondo marino. Además se utilizó un sistema de posicionamiento diferencial Trimble 5700.

Para el procesamiento e integración de la data en tiempo real se utilizó el software Hypack, la unidad de medida utilizada fue el metro; se realizó la verificación de profundidades con escandallo a cada metro y se introdujeron las correcciones por efecto de la ubicación del transductor, velocidad de sonido en la columna de agua y por efecto de las variaciones del nivel del mar.

Ecosonda Odom modelo Echotrack DF 3200 MKIII

Velocidad del sonido 1500 m/s.

Escala Manual

Frecuencia HI

Unidad Metro

Precisión salida 2% de la profundidad.

Ratio de Baudios 19200

Resolución 0.01 m 200kHz

Calado 0.53



Figura 4.3. Ecosonda MKIII. Fuente: Suárez (2010).

GPS Trimble modelo 5700 doble frecuencia, modo RTK (Tiempo Real)

Datum Horizontal WGS-84

Frecuencia de Radio VHF

Sistema de Coordenadas Geográfica DD, MMM.

Ratio de Baudios 38400

Datos Tiempo Real

Precisión horizontal 1 cm+2 ppm Horizontal

2 cm+2 ppm Vertical

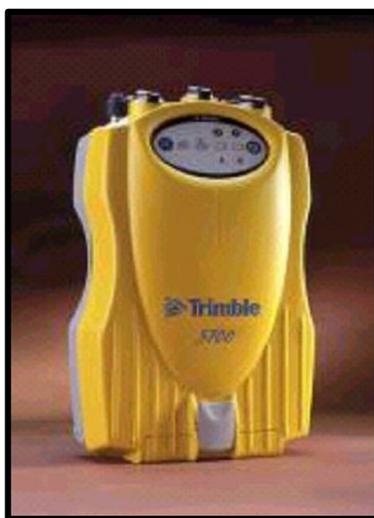


Figura 4.4. GPS Trimble 5700. Fuente: Suárez (2010).

4.5. ANÁLISIS DE BATIMETRÍA MONO-HAZ

En base al análisis de datos XYZ de batimetría monohaz se realizó la interpretación de los dominios morfológicos presentes. De la cual se determinó que las pendientes del lugar son muy suaves, con profundidades menores a 65m con alrededor de 40 km de plataforma. Se reconocieron 3 dominios: Plataforma alta, Plataforma baja y zona de canal.

Plataforma alta.- Zona donde existe menor pendiente, con variaciones de profundidades muy bajas. Es la zona más cercana a la costa ecuatoriana. Este

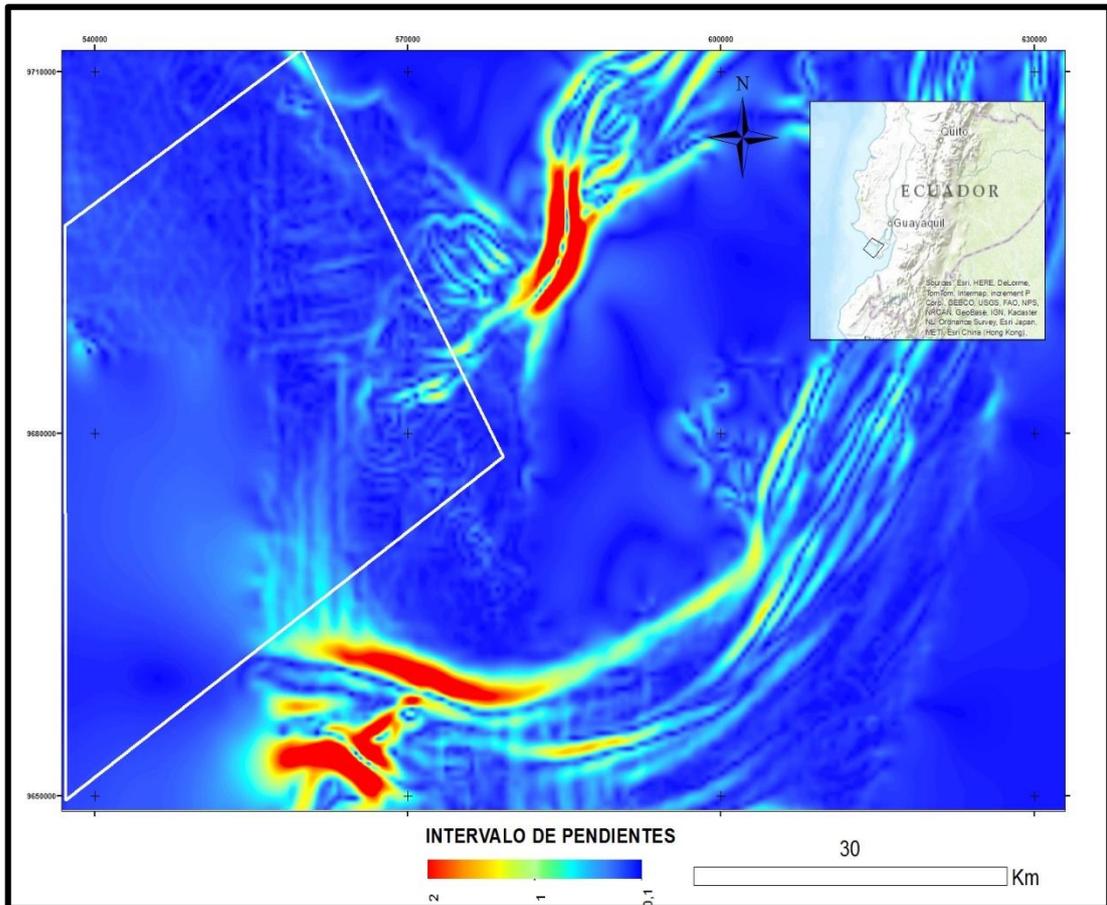
dominio está próximo al canal de Posorja, sin representar una variación en pendiente significativa. Las pendientes de las unidades no son mayores a 0.2° y un área que corresponde a 116 km^2 .

Plataforma baja.- Este dominio consta de 2 segmentos.

El segmento A, en el cual la pendiente varía entre 0.2° y 0.5° . Esta variación de pendiente está relacionada con la cercanía que tiene el segmento con el canal que corresponde entre la Isla Puná y la Isla Santa Clara, con un área correspondiente a 43 km^2 .

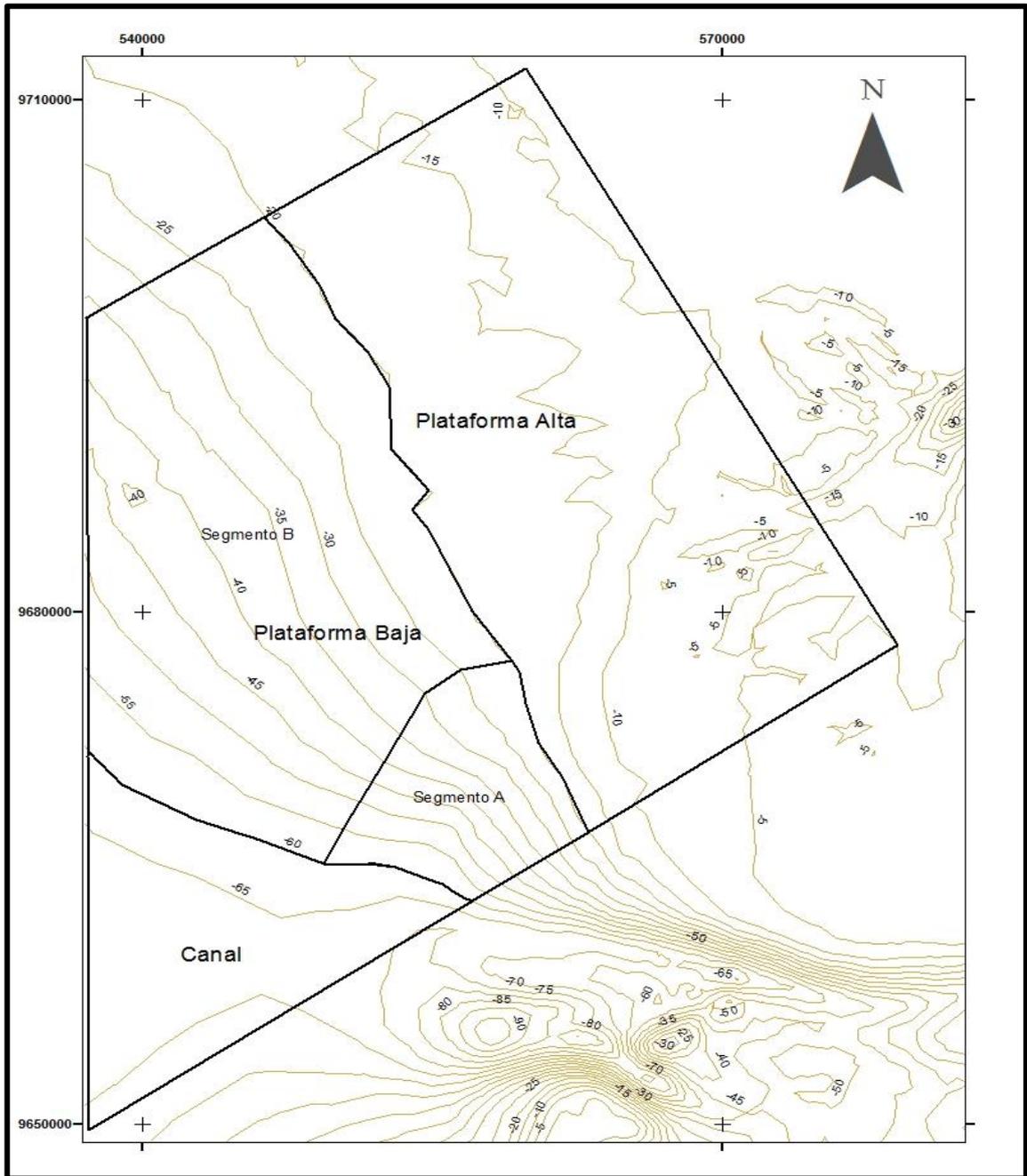
El segmento B, las pendientes son mucho menores que en el segmento A se podría asumir que es subhorizontal.

Zona Canal.- Es la zona con mayor profundidad que se encuentra ya que es parte de un gran canal. Las pendientes en este caso pueden llegar hasta 0.7° en la parte más cercana al canal.



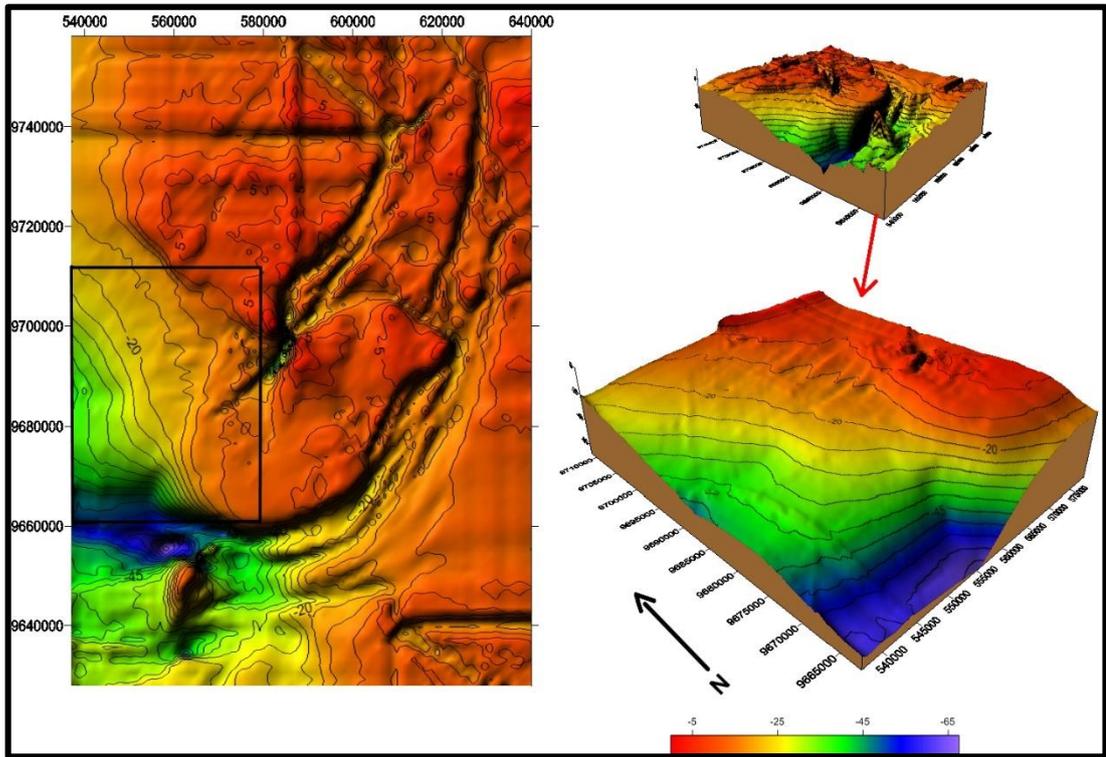
Mapa 4.2. Mapa de pendiente del Golfo de Guayaquil, donde se señala la zona de estudio.

Fuente: Elaborado por Autor (2015).



Mapa 4.3. Clasificación de las geoformas en base al criterio de batimetría.

Fuente: Elaborado por Autor (2015).



Mapa 4.4. Proyección 3D del Golfo donde se señala el área de estudio.

Fuente: Elaborado por Autor (2015).

CAPITULO V

GEOMORFOLOGÍA Y DINÁMICA COSTERA

5.1. GEOLOGÍA REGIONAL.

La zona corresponde al dominio geológico del levantamiento de Santa Elena, según Witt (2006). Las rocas más antiguas que se encuentran en el sector son las pertenecientes al Grupo Azúcar. Corresponde a un área emergente que se encuentra dentro de la formación Tablazo del Pleistoceno, que está constituida por terrazas marinas con material arenoso-calcáreo que se evidencian a unos pocos kilómetros al este del cantón. Su constitución mayoritaria es arenosa fina, pero en la llanura costera se destacan algunos promontorios de coquinas.

La formación Tablazo contiene tres a cuatro horizontes en diferentes altitudes. a) El nivel más alto (80 msnm) consiste en areniscas calcáreas, depositadas en playas abiertas; b) el nivel intermedio (35 a 40 msnm) contiene horizontes de arena fina, conglomerática y arcillosa, con nódulos calcáreos y conchas, de aguas someras; c) el tercer nivel (2 a 10 msnm) contiene arenas pardas con fragmentos de conchas, de playas abiertas. Al norte y noroeste del cantón, en los acantilados de Playas y en el cerro Changilla se observan las rocas más antiguas que corresponden al Grupo Azúcar del Paleoceno Eoceno constituido por conglomerados, arenisca turbidíticas y turbiditas. La zona específica del cantón Playas está situada en el Horst Azúcar, Playas que tiene como límite nororiental la falla regional de La Cruz que se extiende de Posorja a Zapotal en dirección noroeste.

5.2. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Los rasgos geomorfológico del área están controlados por la parte estructural y la litológica, dicho control estructural tiene una alineación NO-SE y la cual está regida por la falla La Cruz y responsable del desplazamiento que en la actualidad pone en contacto las litologías del Horst Azúcar Playas con la de la Cuenca Progreso.

Las vertientes Suroeste de los cerros del Horst Azúcar Playas, están constituidas por depósitos de pie de monte, los que se continúan con depósitos pleistocénicos (Tablazos), los cuales descienden con una pendiente uniforme hasta la cota 20 metros a 4 kilómetros de la costa, desde ahí, continúa una topografía plana que constituye la llanura costera.

Hacia el norte y oeste del río Zapotal la topografía se vuelve irregular. Los afloramientos pleistocénicos (Tablazos), se hacen más extensos con algunos afloramientos de rocas suaves del grupo Ancón.

El drenaje de la zona es básicamente angular y subangular, por lo que se deduce que, en el área, éstos están controlados por fracturas (Saa A., 1988, p. 29).

5.3. ANÁLISIS GEOLÓGICO – GEOMORFOLÓGICO DE LA ZONA CONTINENTAL

Dentro del levantamiento de información de campo se realizaron 10 puntos de observación/control, que a su vez con la ayuda de ortofotos, permitieron generar 10 mapas geomorfológicos a escala 1:5000, el número de mapas se fijó en base a una visualización adecuada de los rasgos geomorfológicos del sector. La zona de estudio se sectorizó como se muestra en el *Mapa 5.1*.

Los puntos de control/observación permitieron realizar una descripción geológica del sector y corregir los contactos de las formaciones de la información digital del portal del Instituto Geográfico Militar (IGM).



Mapa 5.1. Sectorización de la zona de estudio para la adecuada visualización de los dominios geomorfológicos. **Fuente:** Elaborado por Autor.

5.3.1. Geología local.

Formación Progreso

Formación compuesta de limo arenoso, arenisca, lutita color chocolatosa además de arenisca muy meteorizada. (Foto 5.1.a).

En la saliente del río Data de Posorja se puede observar la presencia de esta formación, en dicho acantilado existe la presencia de erosión, sobre todo del paquete limo arenoso (Foto 5.1.b).

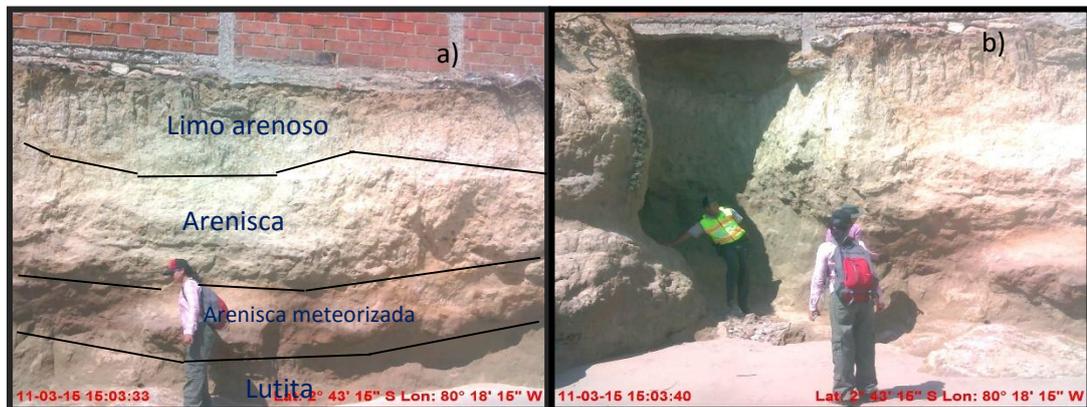


Foto 5.1. Formación Progreso. a) Paquete de estratos conformado por limo arenoso, arenisca, arenisca muy meteorizada y lutita de tonalidad chocolatosa. b) Erosión de las formaciones, donde se observa un gran socavón que afecta a infraestructura civil. **Fuente:** Autor

Grupo Azúcar

Formación muy local, donde se observa intercalaciones de areniscas, conglomerados y en algunos sectores lutitas. La presencia de la arenisca tiene una particularidad ya que presenta diaclasamiento moderado (foto 5.2.a). Los paquetes de conglomerados que presenta el grupo, no poseen una uniformidad en la configuración de los clastos (foto 5.2.b).

La estratificación es muy marcada con paquetes variables de potencia superior a 1m, la orientación que siguen dichos estratos se puede considerar como similar NO-SE y esto aplica para los 3 sectores donde aflora el grupo.

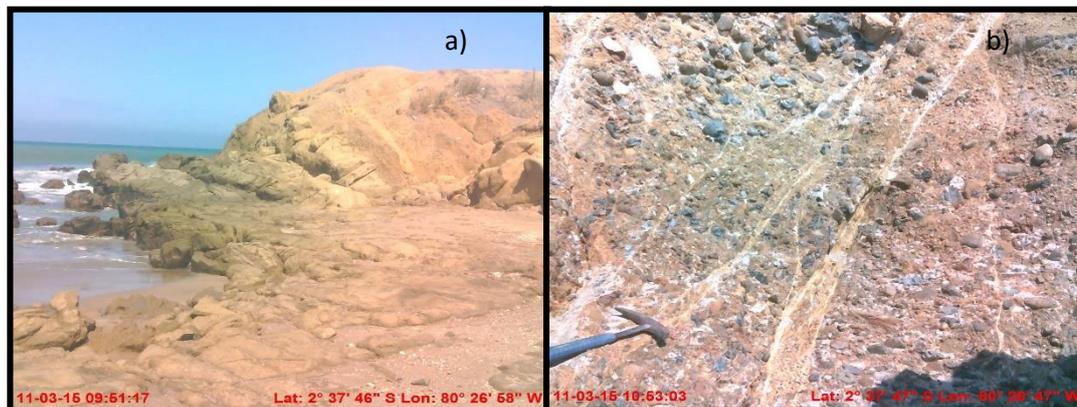


Foto 5.2. Grupo Azúcar. a) Arenisca masiva diaclasada, la cual forma parte de la plataforma de abrasión. b) Clastos sin ordenamiento. **Fuente:** Autor.

5.3.2. Geomorfología del sector

La zona de estudio en su mayoría presenta áreas de playas con escarpes bajos pertenecientes a una terraza de la formación Tablazo, que son separadas por los afloramientos del grupo Azúcar. El drenaje que presenta el sector es de dominio detrítico.

El lugar posee una geomorfología muy característica de la naturaleza de la roca, donde la energía de las olas erosiona.

Se lograron identificar varias unidades morfológicas, las cuales se detallan a continuación:

Antiguas terraza: En el tramo de Engabao-El Pelado se puede observar antiguas terrazas no superiores a 5 metros, como se puede observar en la foto 5.3.



Foto 5.3. Escarpe de antiguas terrazas correspondiente a la formación Tablazo, con un cordón litoral muy marcado. El cordón y el escarpe protegen al poblado de Engabao del aumento del nivel mar. Fuente: Autor.

Playa: Es la unidad con mayor prolongación a lo largo de la línea de costa presentando variaciones en cuanto a su ancho, se observan cordones litorales que están bien desarrollados. Las playas se encuentran separadas por el afloramiento de rocas del grupo Azúcar como se puede observar en la foto 5.4. y el mapa geomorfológico 3 (Anexo 2).



Foto 5.4. Playa separada por la plataforma de abrasión perteneciente al Grupo Azúcar.

Fuente: Autor.

Abanico Aluvial: Constituye antiguas desembocaduras de ríos o esteros que se ven muy marcados en la zona comprendida entre Engabao y El Pelado, diferenciados por las demás unidades por el cambio en la pendiente y la inexistencia de vegetación como lo muestra la foto 5.5.



Foto 5.5. Abanico aluvial señalado en varios mapas geomorfológico (Anexo 2) como punto de control. **Fuente:** Autor.

Dunas: El sector comprendido desde Genera Villamil Playas hasta Data de Posorja presenta las condiciones adecuadas (zonas bajas, arenas y energía del viento) para el desarrollo de este tipo de unidad geomorfológica. Esta unidad protegería a la población de oleaje del mar anómalo, por su ancho.

Acantilados: Se observan acantilados no mayores a los 10 m (foto 5.6.a.), los constituyen el Grupo Azúcar, esta unidad tiene la particularidad que separa a la Unidad Playa (foto 5.6.a). Se pueden observar paquetes de estratos con un rumbo NW-SE (foto 5.6.b).



Foto 5.6. Acantilados pertenecientes al Grupo Azúcar. a) Acantilados que separan a la Unidad Playa. b) Areniscas estratificadas con rumbo NW-SE. **Fuente:** Autor.

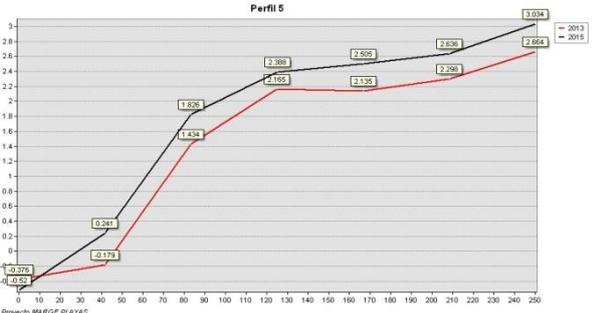
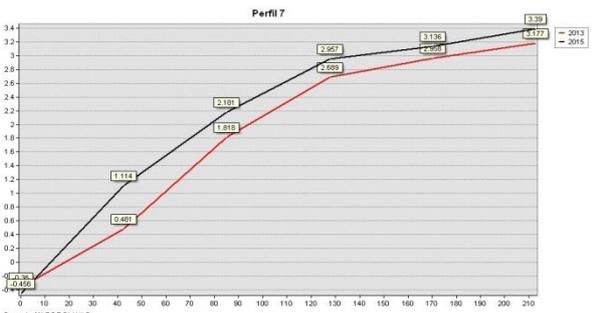
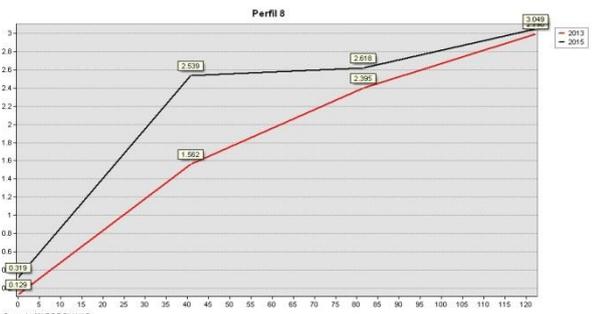
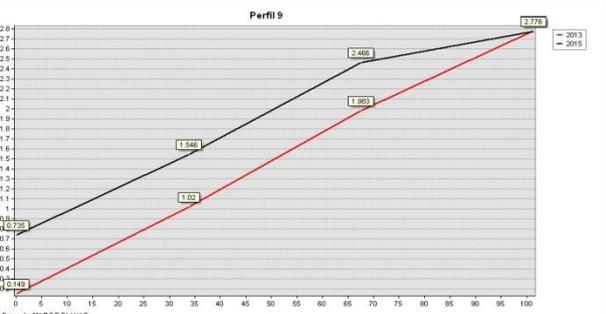
5.4. ANÁLISIS DE PERFILES LEVANTADOS EN LOS AÑOS 2013-2015.

Con los perfiles levantados en el campo y los existentes se procedió a realizar el análisis de los procesos a los que se ve afectado el sector.

En la tabla 5.1. se muestran los 35 perfiles levantados, considerando que las líneas rojas representan los perfiles levantados en el 2013, mientras que las líneas negras son aquellos perfiles levantados en marzo de 2015. De los 35 perfiles, 27 presentan el proceso de acreción y solo 8 el proceso de erosión.

Tabla 5.1. Coordenadas de perfiles levantados en General Villamil Playas-Data de Posorja

No. PERFIL	COORDENADAS (UTM) WGS84		Proceso																						
	ESTE	NORTE																							
1	567190	9708447	ACRECIÓN	<p>Perfil 1</p> <table border="1"> <caption>Datos de Perfil 1</caption> <thead> <tr> <th>Distancia (m)</th> <th>Elevación 2013 (m)</th> <th>Elevación 2015 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.461</td><td>0.461</td></tr> <tr><td>15</td><td>1.341</td><td>0.965</td></tr> <tr><td>30</td><td>2.051</td><td>1.601</td></tr> <tr><td>45</td><td>2.302</td><td>2.041</td></tr> <tr><td>60</td><td>2.365</td><td>2.041</td></tr> </tbody> </table>	Distancia (m)	Elevación 2013 (m)	Elevación 2015 (m)	0	0.461	0.461	15	1.341	0.965	30	2.051	1.601	45	2.302	2.041	60	2.365	2.041			
Distancia (m)	Elevación 2013 (m)	Elevación 2015 (m)																							
0	0.461	0.461																							
15	1.341	0.965																							
30	2.051	1.601																							
45	2.302	2.041																							
60	2.365	2.041																							
2	567650	9708170	ACRECIÓN	<p>Perfil 2</p> <table border="1"> <caption>Datos de Perfil 2</caption> <thead> <tr> <th>Distancia (m)</th> <th>Elevación 2013 (m)</th> <th>Elevación 2015 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.701</td><td>0.101</td></tr> <tr><td>15</td><td>1.631</td><td>1.631</td></tr> <tr><td>30</td><td>2.342</td><td>2.091</td></tr> <tr><td>45</td><td>2.759</td><td>2.202</td></tr> <tr><td>60</td><td>2.878</td><td>2.525</td></tr> <tr><td>75</td><td>2.894</td><td>2.601</td></tr> </tbody> </table>	Distancia (m)	Elevación 2013 (m)	Elevación 2015 (m)	0	0.701	0.101	15	1.631	1.631	30	2.342	2.091	45	2.759	2.202	60	2.878	2.525	75	2.894	2.601
Distancia (m)	Elevación 2013 (m)	Elevación 2015 (m)																							
0	0.701	0.101																							
15	1.631	1.631																							
30	2.342	2.091																							
45	2.759	2.202																							
60	2.878	2.525																							
75	2.894	2.601																							
3	567961	9707766	ACRECIÓN	<p>Perfil 3</p> <table border="1"> <caption>Datos de Perfil 3</caption> <thead> <tr> <th>Distancia (m)</th> <th>Elevación 2013 (m)</th> <th>Elevación 2015 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.153</td><td>-0.491</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.709</td><td>0.621</td></tr> <tr><td>30</td><td>1.851</td><td>1.531</td></tr> <tr><td>45</td><td>2.441</td><td>2.185</td></tr> <tr><td>60</td><td>2.437</td><td>1.850</td></tr> <tr><td>75</td><td>2.896</td><td>2.664</td></tr> </tbody> </table>	Distancia (m)	Elevación 2013 (m)	Elevación 2015 (m)	0	0.153	-0.491	15	0.709	0.621	30	1.851	1.531	45	2.441	2.185	60	2.437	1.850	75	2.896	2.664
Distancia (m)	Elevación 2013 (m)	Elevación 2015 (m)																							
0	0.153	-0.491																							
15	0.709	0.621																							
30	1.851	1.531																							
45	2.441	2.185																							
60	2.437	1.850																							
75	2.896	2.664																							
4	568239	9707390	ACRECIÓN	<p>Perfil 4</p> <table border="1"> <caption>Datos de Perfil 4</caption> <thead> <tr> <th>Distancia (m)</th> <th>Elevación 2013 (m)</th> <th>Elevación 2015 (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0.426</td><td>-0.027</td></tr> <tr><td>15</td><td>1.492</td><td>0.445</td></tr> <tr><td>30</td><td>2.433</td><td>2.124</td></tr> <tr><td>45</td><td>2.611</td><td>2.639</td></tr> <tr><td>60</td><td>3.053</td><td>2.771</td></tr> <tr><td>75</td><td>3.228</td><td>3.018</td></tr> </tbody> </table>	Distancia (m)	Elevación 2013 (m)	Elevación 2015 (m)	0	0.426	-0.027	15	1.492	0.445	30	2.433	2.124	45	2.611	2.639	60	3.053	2.771	75	3.228	3.018
Distancia (m)	Elevación 2013 (m)	Elevación 2015 (m)																							
0	0.426	-0.027																							
15	1.492	0.445																							
30	2.433	2.124																							
45	2.611	2.639																							
60	3.053	2.771																							
75	3.228	3.018																							

5	568522	9706966	ACRECIÓN	
6	568822	9706558	ACRECIÓN	
7	569120	9706154	ACRECIÓN	
8	569446	9705768	ACRECIÓN	
9	569744	9705367	ACRECIÓN	

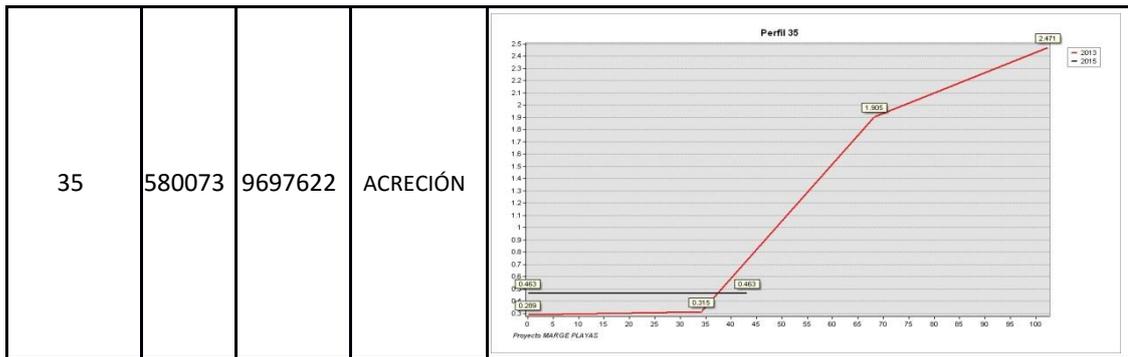
10	570050	9704979	ACRECIÓN	
11	570405	9704617	ACRECIÓN	
12	570779	9704284	ACRECIÓN	
13	571158	9703956	ACRECIÓN	
14	571544	9703636	EROSIÓN	

15	571949	9703343	ACRECIÓN	
16	572374	9703071	ACRECIÓN	
17	572773	9702767	ACRECIÓN	
18	573149	9702409	ACRECIÓN	
19	573499	9702122	ACRECIÓN	

20	573940	9701828	ACRECIÓN	<p>Perfil 20</p>
21	574317	9701496	ACRECIÓN	<p>Perfil 21</p>
22	574720	9701202	ACRECIÓN	<p>Perfil 22</p>
23	575048	9700865	ACRECIÓN	<p>Perfil 23</p>
24	575390	9700466	EROSIÓN	<p>Perfil 24</p>

25	575765	9700140	EROSIÓN	
26	576172	9699842	EROSIÓN	
27	576594	9699565	EROSIÓN	
28	577018	9699295	EROSIÓN	
29	577411	9698980	EROSIÓN	

30	577899	9698788	ACRECIÓN	
31	578388	9698622	ACRECIÓN	
32	578803	9698440	ACRECIÓN	
33	579201	9698128	ACRECIÓN	
34	579646	9697894	EROSIÓN	



Fuente: Elaborado por Autor (2015).

5.5. ANÁLISIS MULTITEMPORAL

Para este análisis se tomaron las siguientes consideraciones:

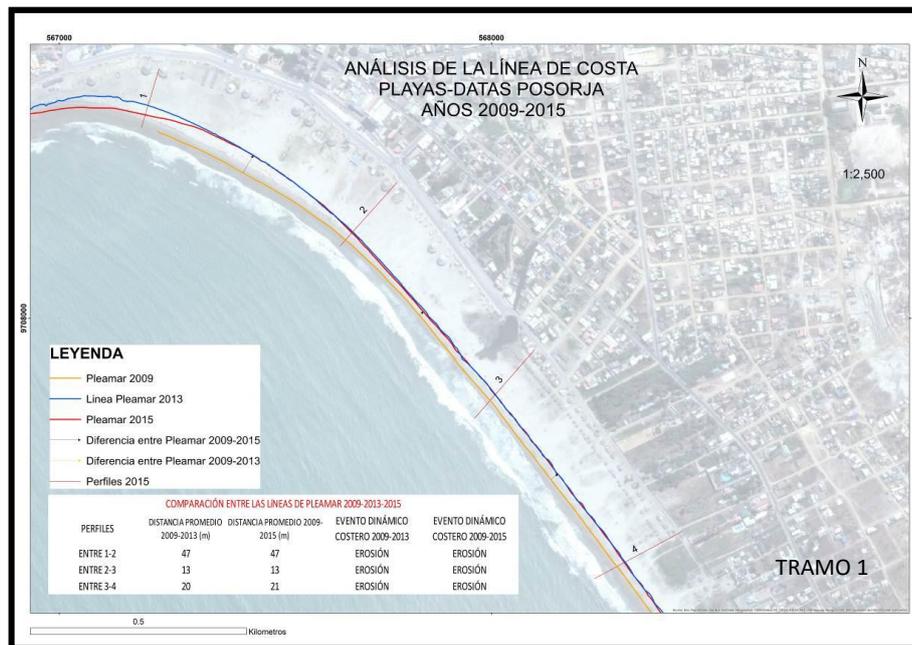
- ✓ La escala 1:2500 de los mapas que se presentan dentro del estudio se fijó con el fin de visualizar de manera adecuada las distancias de las líneas de costa. Por lo cual se procedió a segmentar el área de análisis en 10 TRAMOS (Mapa 5.2.).
- ✓ En los procesos que se establecieron en cuanto a la dinámica de la línea de costa, no se consideraron los parámetros climáticos, oceanográficos y antrópicos, los cuales son condicionantes para acelerar dichos procesos.



Mapa 5.2. Segmentación de la zona de análisis multitemporal en tramos.

Fuente: Elaborado por Autor (2015).

El sector estudiado presenta 19 Km de playa de arena (grano medio-grueso). Presenta los procesos de erosión y acreción, observando que la línea de costa de 2013 presenta mayor erosión tomando como referencia a la línea de costa de 2009, mientras que la línea de 2015 en algunos tramos continúa con los procesos de la línea de 2013. (Mapa. 5.3.).



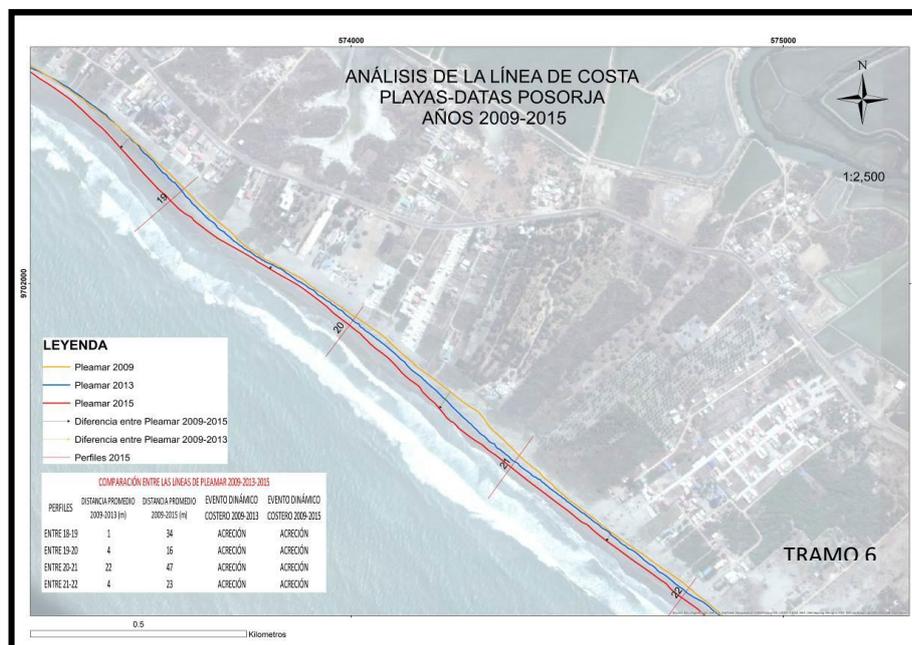
Mapa 5.3. General Villamil Playas, TRAMO 1. La imagen muestra las líneas de pleamar de los años 2009 (naranja), 2013 (azul) y 2015 (roja). Líneas de los años 2013 y 2015 no presentan mayor diferencia de distancia entre sí. **Fuente:** Elaborado por Autor (2015).



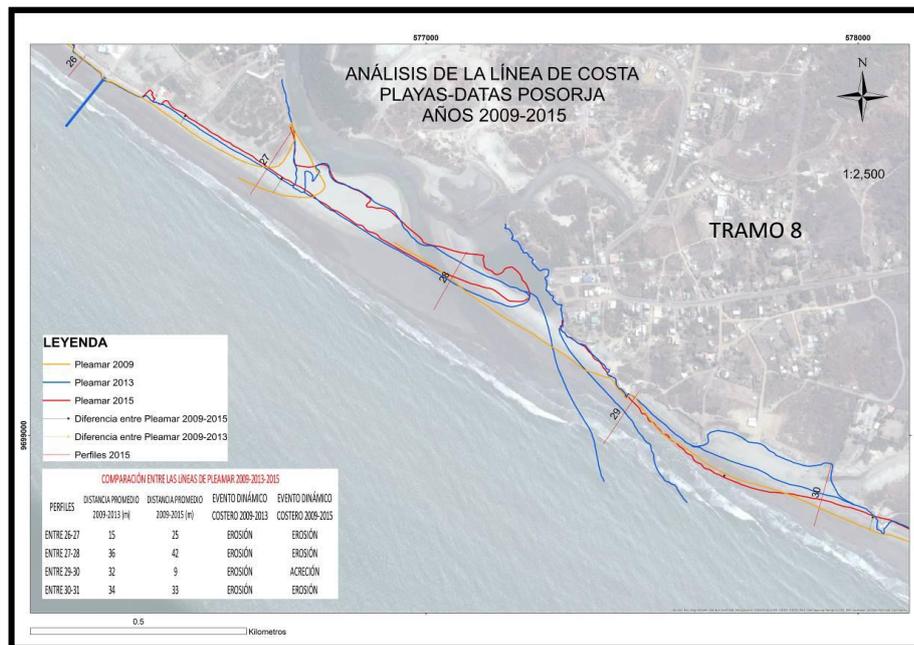
Mapa 5.4. General Villamil Playas. En el TRAMO 3 se observa que la línea de referencia, de 2009 (naranja) se encuentra situada en medio de las líneas 2013 y 2015, existen procesos contrarios. Por lo que en este tramo existe la deposición de sedimentos, comparando los años 2013-2015. **Fuente:** Elaborado por Autor (2015).



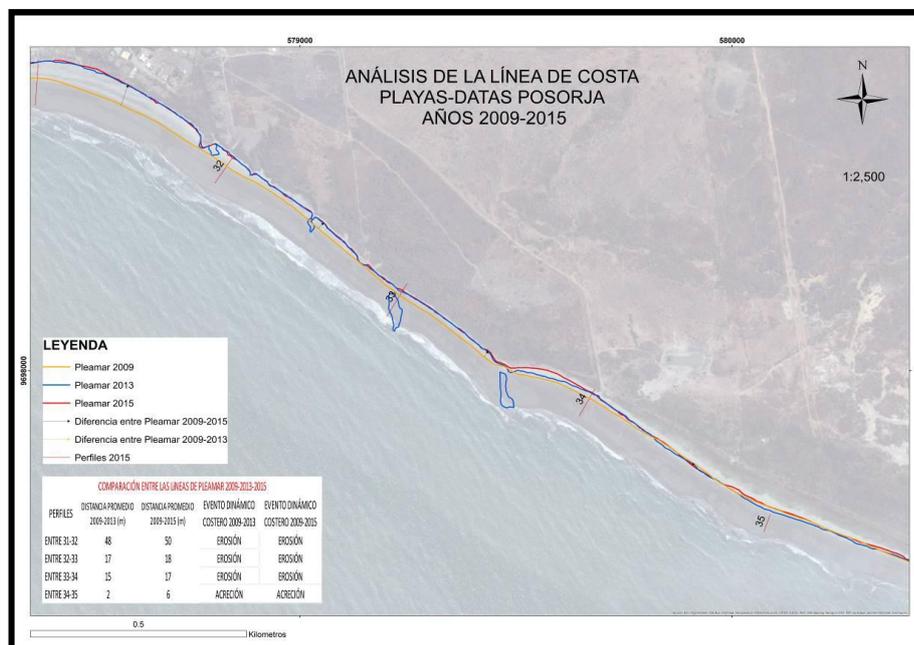
Mapa 5.5. TRAMO 4. Se observa al igual que en el tramo 1 existe erosión, con la diferencia que la línea de costa del año 2015 está más cercana a la línea de referencia (2009). Por lo que la línea de 2015 en referencia al 2013 existe el proceso de acreción.
Fuente: Elaborado por Autor (2015).



Mapa 5.6. TRAMO 6. Se puede visualizar que en la línea de 2015 existe el mismo proceso que la del 2013 pero con una diferencia de distancia mucho mayor. Considerando por este motivo que en este tramo la acreción es considerable. **Fuente:** Elaborado por Autor (2015).



Mapa 5.7. TRAMO 8. En este existe la particularidad de la existencia de una flecha debido a la desembocadura del río Data de Posorja. Esta flecha ha tenido un cambio en su morfología, por lo que en el 2009 era mínima y la desembocadura del río también era diferente.
Fuente: Elaborado por Autor (2015).



Mapa 5.8. TRAMO 9. Existe erosión en los años 2013 y 2015 con referencia al año 2009, pero denotando que entre los años 2013 y 2015 existe un equilibrio o que los procesos (acreción/erosión) son mínimos, debido a que la línea de costa en este sector alcanza los pequeños acantilados que existen en la zona. **Fuente:** Elaborado por Autor (2015).

CAPÍTULO VI

RESULTADOS.

6.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SÍSMICA, BATIMETRÍA Y GEOLOGÍA MARINA.

Como resultados obtenidos de los análisis sísmico y batimétrico se determinaron estructuras que pueden ser potenciales peligros geológicos.

La estructura que puede representar un potencial peligro geológico es la falla que existe en la línea sísmica L16, en la cual se puede observar un afloramiento superficial. Por lo que se asume que el área no presenta mayores deformaciones ni estructuras que puedan representar peligros geológicos.

En cuanto a los peligros relacionados a deslizamiento de materiales, la probabilidad de que se dé un evento de este tipo es casi nula debido a que la zona no presenta pendientes abruptas, más bien expone un terreno geomorfológicamente plano.

6.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA DINÁMICA COSTERA

El tramo comprendido desde Engabao y General Villamil Playas presenta acantilados no mayores a 10 m que permiten que exista un equilibrio en la dinámica costera, además de la existencia de pequeñas terrazas que protegen al sector antes mencionado. Es importante mencionar que el despliegue de estas estructuras a lo largo de la línea de costa incidió de forma tal que se dificultó realizar el análisis de variabilidad costera.

En base a los perfiles levantados en los años 2013 y 2015, transversales a línea de costa y en las mismas coordenadas, se determinó que la dinámica de la línea de costa entre los sectores de Playas hasta Data de Posorja, el mayor proceso geológico que presenta el lugar es la acreción y en ciertos sectores algo de erosión, dictaminando que la zona estudiada presenta una progradación activa en lo que corresponde en comparación con los años antes mencionados. El énfasis que se le da al lugar es debido al interés turístico que presenta, determinando si en un futuro pueda representar una peligrosidad considerable y las medidas que se pueden tomar como parte de la prevención.

Con las líneas de costas se cuantifico la dinámica costera. La línea de costa de 2015 tiene un comportamiento similar a la de 2013, separando solo el TRAMO 3 en el cual los procesos son diferentes. Hay que tomar en cuenta además que en el TRAMO 9 existe un equilibrio, debido a que la línea de costa coincide con el pie de los pequeños acantilados que se observan.

Un hecho muy particular ocurre en el TRAMO 8 donde se denota el cambio de la desembocadura del río Data de Posorja, el cual ha afectado a la infraestructura cercana erosionando las paredes del pequeño acantilado (Figura 6.1.), además la litología permite el socavamiento.

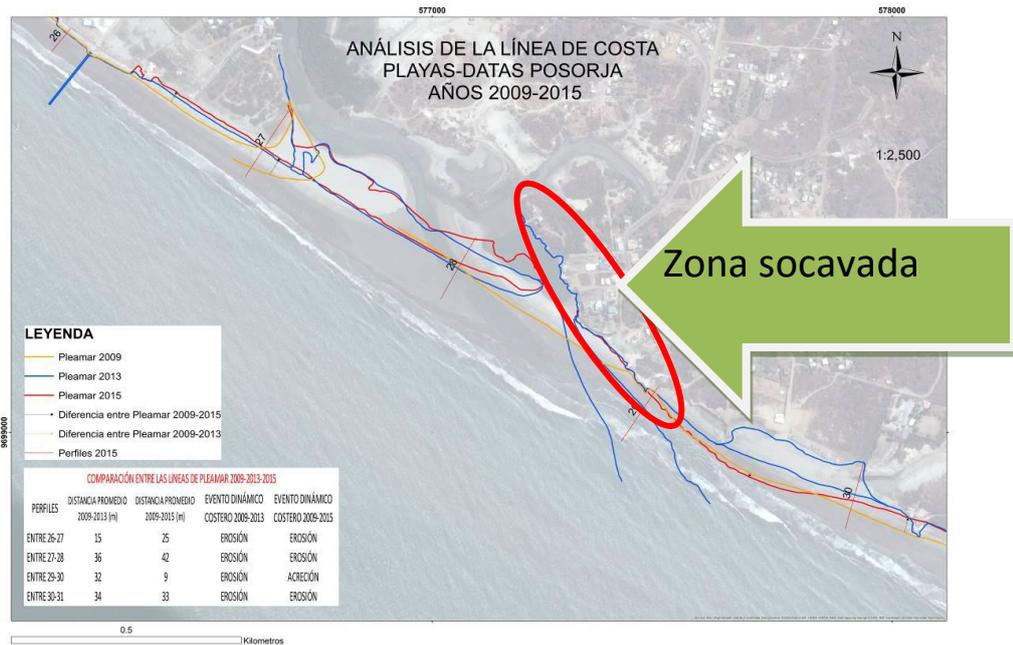


Figura 6.1. TRAMO 8. Afectada por la erosión. Desembocadura del río Data de Posorja.

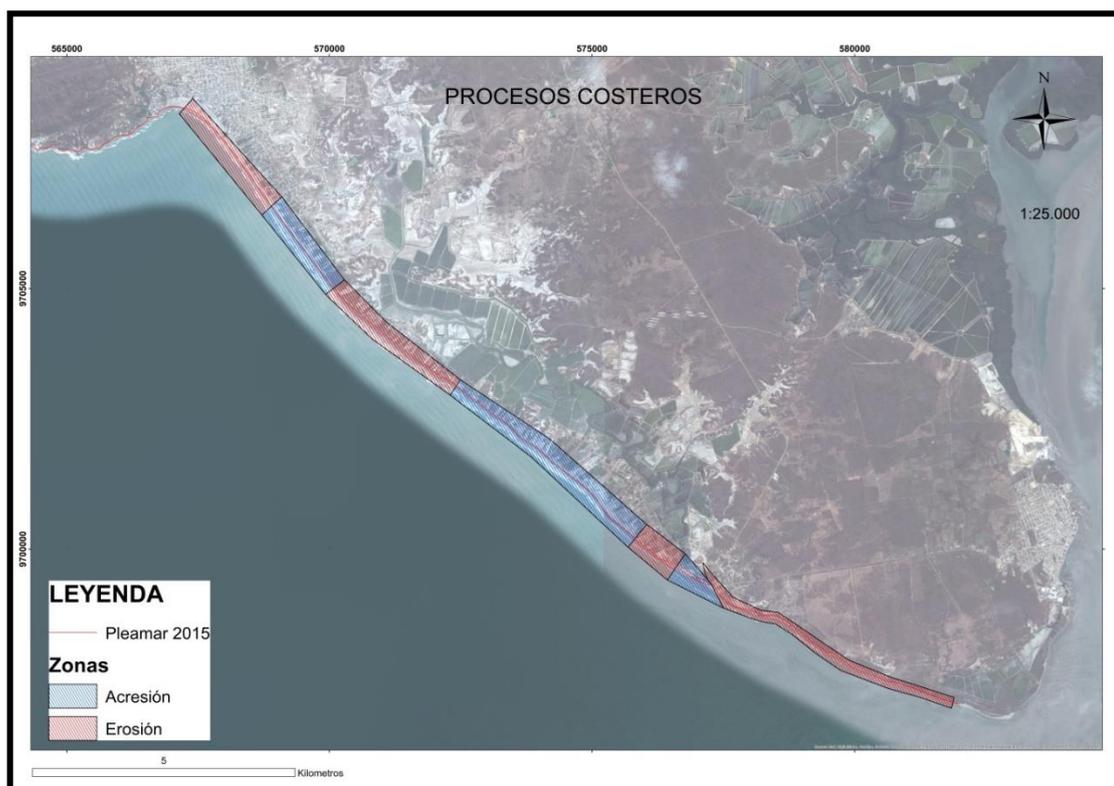
Fuente: Elaborado por Autor (2015).



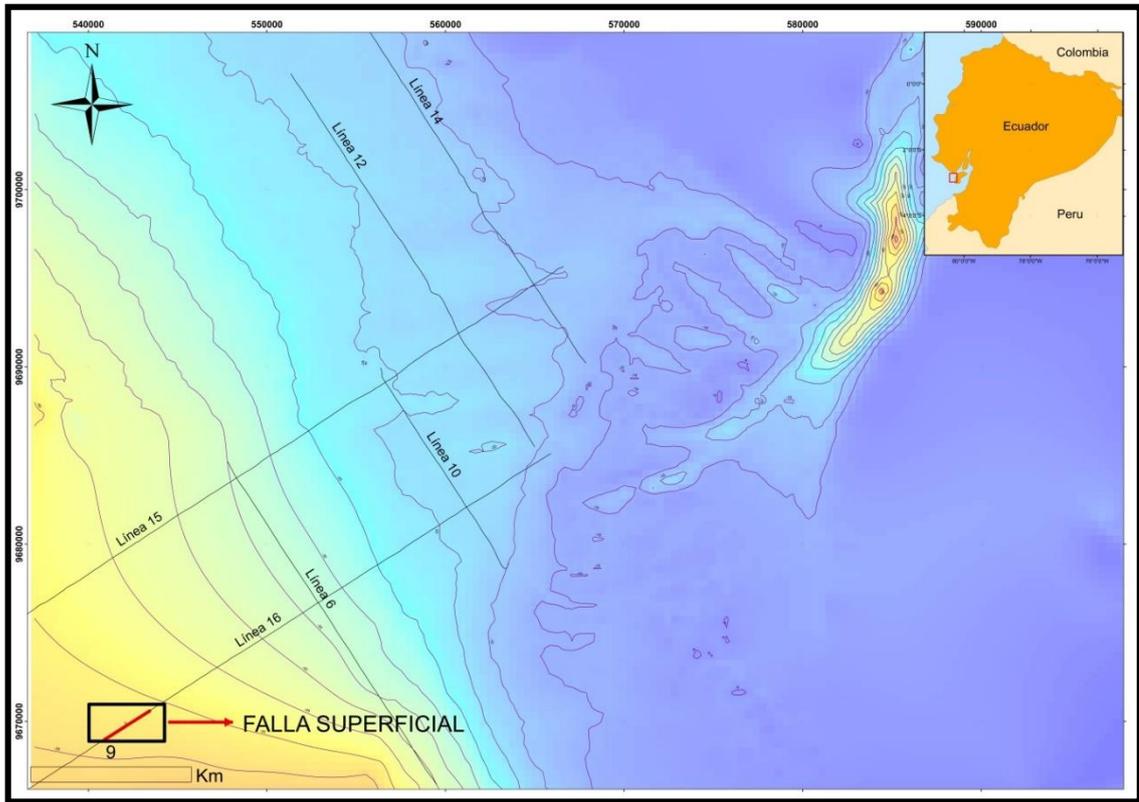
Foto 6.1. Imágenes A, B, C y C en la que se puede observar la infraestructura afectada por la variación de la desembocadura del río Data de Posorja. Fuente: Autor

6.2.1. Áreas con potenciales peligros geológicos

Con la integración de toda la información se caracterizaron áreas con potenciales peligros geológicos. Áreas de erosión donde la proyección en base al análisis de líneas de costa, perfiles, geomorfología y geología es que continúen erosionándose, como se fija en los mapas de potenciales peligros geológicos.



Mapa 6.1. Determinación de procesos costeros, en los cuales se debe tomar en cuenta que las zonas de erosión representan potencial peligro geológico. Fuente: Elaborado por Autor (2015).



Mapa 6.2. Mapa donde se determinan la falla superficial que representa un peligro geológico.
Fuente: Elaborado por Autor (2015).

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.3. CONCLUSIONES

- En la zona estudiada, tanto en la parte oceánica como en la continental, no se encontraron peligros geológicos representativos. En el sector oceánico la única estructura que constituye un peligro mínimo es la falla superficial del perfil 16 que se presume es una extensión de la Falla Posorja, mientras que las pendientes que se hallan en el lugar no representarían peligro de movimiento de masas al ser mínimas. se consideran una amenaza. En lo que concierne al sector continental, la desembocadura del río Data de Posorja supone un peligro a tener en cuenta, debido a que el socavamiento de dicha desembocadura en su lado este afectaría a la infraestructura civil.
- Se realizó un análisis a los dominios morfológicos desplegados en la plataforma oceánica y se los agrupó de la siguiente manera: Plataforma baja la cual presenta una pendiente mayor que la Plataforma alta, ésto debido a su cercanía a una fosa y la Zona del canal que es la correspondiente a la zona más profunda del área de estudio.
- Se integró la interpretación sísmica y batimétrica la cual permitió determinar que los sedimentos someros de esta zona no han sido sometidos a una deformación considerable, además de que no presentan estructuras relevantes que de una u otra manera puedan representar un

riesgo considerable para las poblaciones costeras cercanas, en este caso General Villamil-Playas o para infraestructura petrolera.

- En base a los perfiles levantados en los años 2013 y 2015, así como también las líneas de costas de los años 2009, 2013 y 2015 se pudo determinar la variación que ha sufrido el tramo desde General Villamil-Playas hasta Data de Posorja. En el lugar existe una mayor zona de acreción que de erosión con lo que se establece que al momento existe una progradación activa, comparando las líneas de 2013 y 2015. Mientras que al tomar como línea de referencia a la de 2009 y compararla con las de 2013 y 2015 existe mayor erosión que acreción. Por lo que se puede asumir que la línea de costas actual tiene un ciclo armónico.
- Se puede observar además que mucha de la infraestructura civil que no respeta las normas de construcción recomendadas, que estipulan que la construcción de viviendas se debe realizar 50 m más allá del último cordón litoral identificado, con el fin de no poner en riesgo ni a la infraestructura ni al ser humano.
- La zona se puede considerar estable ya que los peligros son mínimos, cabe destacar que la misma presenta un equilibrio, esto quiere decir que en los lugares donde existe erosión, el material desgastado es arrastrado y se deposita en otro punto. En los sitios donde aparecen acantilados no existen ninguno de los dos tipos de eventos (erosión/acreción).

6.4. RECOMENDACIONES

- Que se supervise las construcciones de nuevas vivienda cerca de la playa, como medida de prevención.
- Que anualmente se realice el levantamiento de la línea de costa para llevar un análisis estadístico de la dinámica costera.

BIBLIOGRAFÍA CITADA.

- Beauval, C. Yépez, H., Bakun, W., Egres, J., Alavarado, A., & Singaicho, J.(2010). Locations and magnitudes of historical earthquakes in the Sierra of Ecuador (1587-1996), *Geophysical Journal International* 181(3): pp. 1613-1633.
- Benítez, S. (1995). Evolution géodynamique de la province côtière sud équatorinne au Crétacé supérieur. *Géologie Alpine*, 71:208.
- Chunga, K., y Quiñónez, F. (2013). Evidencia sedimentaria de Tsunamis en la planicie aluvial de Villamil Playas, Golfo de Guayaquil. *Acta Oceanográfica del Pacífico* Vol. 18 N°1. pp 163-180. [Online]. Available: <http://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/5768/Evidencia%20sedimentaria%20de%20tsunamis%20en%20la%20...PDF?sequence=1>.
- Cobos L. (2010). Estudio integrado del Golfo de Guayaquil del Mioceno al reciente. (Tesis inédita). Escuela Politécnica del Litoral. [Online]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10658>.
- Cruz, M., Acosta, M., y Vásquez, N. (2010). Riesgo por Tsunami en la costa ecuatoriana. Instituto Panamericano de Geografía e Historia Sección Nacional del Ecuador. Publicaciones de geofísica. [Online]. Available: <http://www.ipgh.gob.ec/index.php/geofisica/publicaciones/67-riesgos-por-tsunami-en-la-costa-ecuatoriana>.
- Deckelman, J., Connors, F., Shultz, A., Glagola, P., Menerd, W., Schwegal, S., and Shearer, J., (2008). Neogene oil and gas reservoirs in the

Progreso basin, offshore Ecuador and Peru: implications for petroleum exploration and development. *Journal of Petroleum Geology*, 31(1): pp. 43-60.

- Del Río, L. and Gracia, F. (2009). Erosion risk assessment of active coastal cliffs in temperate environments. *Geomorphology*, 112, pp. 82 – 95.
- Deniaud, Y. (1998). Evolución tectono-sedimentaria de las cuencas costeras Neógenas del Ecuador. ORSTOM Ax 15383, Convenio Petroproducción-Orstom, Quito: pp 69.
- Deniaud, Y., Baby, P., Basile, C., Ordoñez, M., Masle, G., and Montenegro, G., (1999a). Neogene evolution of the main Ecuadorian fore-arc sedimentary basin and sediment mass-balance inferences, Fourth ISAG. IRD, Geitungen.
- Deniaud, Y. (2000). Enregistrement sédimentaire et structural de l'évolution géodynamique des Andes équatoriennes au cours du Néogène: Etude des bassins d'avant arc et bilan de masse. *Géologie Alpine, Mémoire H.S.(32)*: pp 159.
- Dumont, J., Santana, E., Soledispa, B. and King, A., (2007). El Islote El Palmar, resultados de una evolución a largo plazo de la distribución del drenaje entre los ríos Daule y Babahoyo en la cuenca del Guayas. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 14(1): pp. 169-180. [Online]. Available: <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/publicaciones/file/220-el-islote-el- almar-resultado-de-una-evolucion-a-largo-plazo-de-la-distribucion-del-drenaje-entre-los-rios-daule-y-babahoyo-en-la-cuenca-del-guayas?start=20>

- Dumont, J., y Santana, E. (2009). Documento científico- técnico para definir el comportamiento morfo-estructural del Golfo de Guayaquil en la parte terrestre correspondiente a los sectores de: Posorja-Guayaquil-Naranjal- Puerto Bolívar-Puná-Santa Clara: pp. 200.
- Dumont, J., Santana, E., Vilema, W., Pedoja, K., Ordoñez, M., Cruz, M., Jiménez, N., y Zambrano, I. (2005). Morphological and Microtectonic analysis of quaternary deformation from Puna and Santa Clara islands, Golf of Guayaquil, 399, p. 331-350.
- Egüez, A., Alvarado, A., & Yopez, H. (2003). Map of Quaternary Faults and Folds of Ecuador and its offshore Regions. International Lithosphere Program Task Group 11-2, Major Active Faults of the World, USGS.
- Espinoza, J., (1992). Terremotos tsunamigénicos en el Ecuador, Acta Oceanográfica del Pacífico INOCAR, 25, 66-82. Geológica del Perú, vol.32, Part 2, 225-238.
- Evolución Tectónica Y Sedimentaria Reciente Del Margen Continental Del Golfo De Guayaquil Y Esmeraldas. Proyecto Marge. (Por publicar)
- González de Vallejo, L., Seisdedos, J., Rodríguez, J., Garcia, F., Garrote, J. y Del Río, L. (2012). Base metodológicas para la cartografía de riesgos naturales en zonas costeras. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. Nº 28. 91-102. Buenos Aires.

- Goossens P. & Rose W. (1973). Chemical Composition and Age Determination of Tholeiitic Rocks in the Basic Igneous Complex, Ecuador. GSA Bulletin. 84: 1043-1052.
- 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.
- Jaillard, E., Benitez, S. & Mascle, G. (1997). The Paleogene deformations of the South Ecuadorian avant- arc zone in relation l` evolution geodynamics Bull. Soc. Geol. Fr, 168: pp. 403-412.
- Lions, R. (1995). Geodynamic evolution of a fore-arc basin of Neogene context winning: l'ouverture Gulf of Guayaquil. DEA Thesis, Université Jpseph Fourier, Institut Dolomieu, Grenoble, pp. 83.
- Pedoja, K., (2003). Les terrasses marines de la marge Nord Andine (Equateur et Nord Pérou): relations avec le contexte géodynamique. unpublished Ph.D Thesis. Université Pierre et Marie Curie, Paris, pp. 350.
- Pedoja, K., Ortlieb, L., Dumont, J., Lamothe, M., Ghaleb, B., Acluir, M. and labrousse, B., (2006), Quaternary coastal uplift along the Talada Arc (Ecuador, Northern Peru) from new marine terrace data. Marine Geology (228): pp. 73-91.
- Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca S. y Yepes, H. (2007): Los terremotos en el Ecuador. Corporación Editora Nacional, Quito, pp. 106.

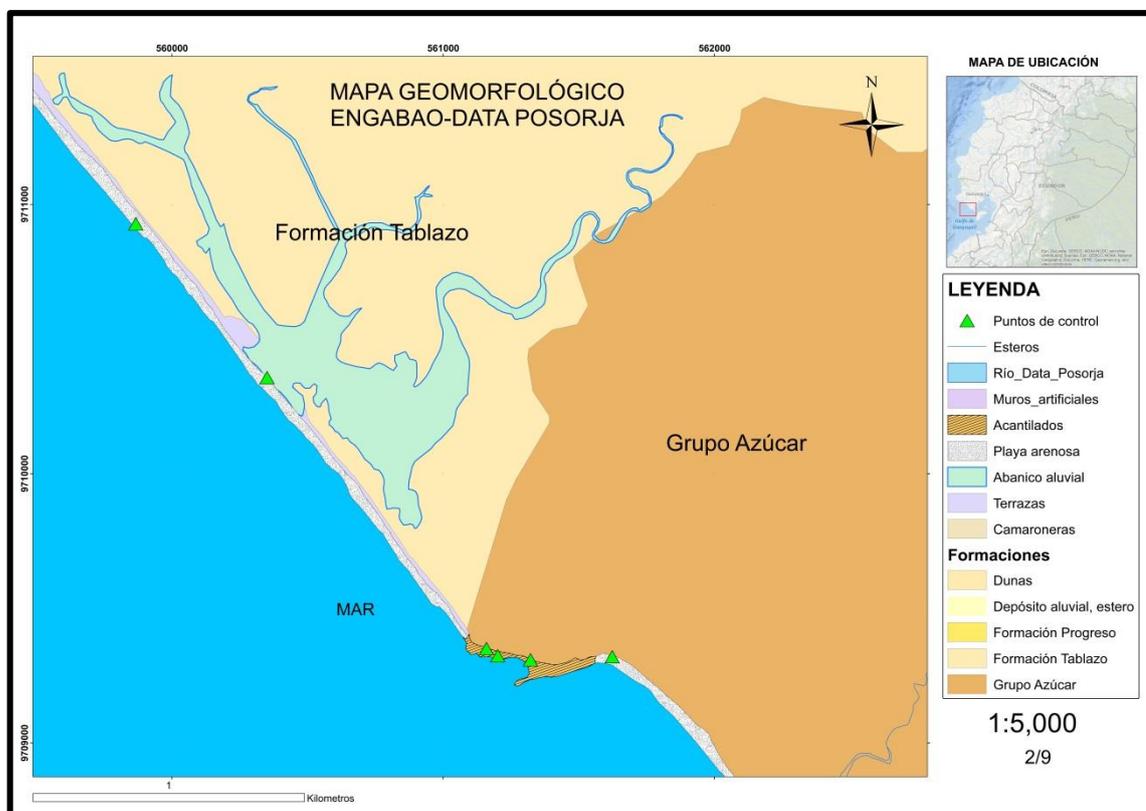
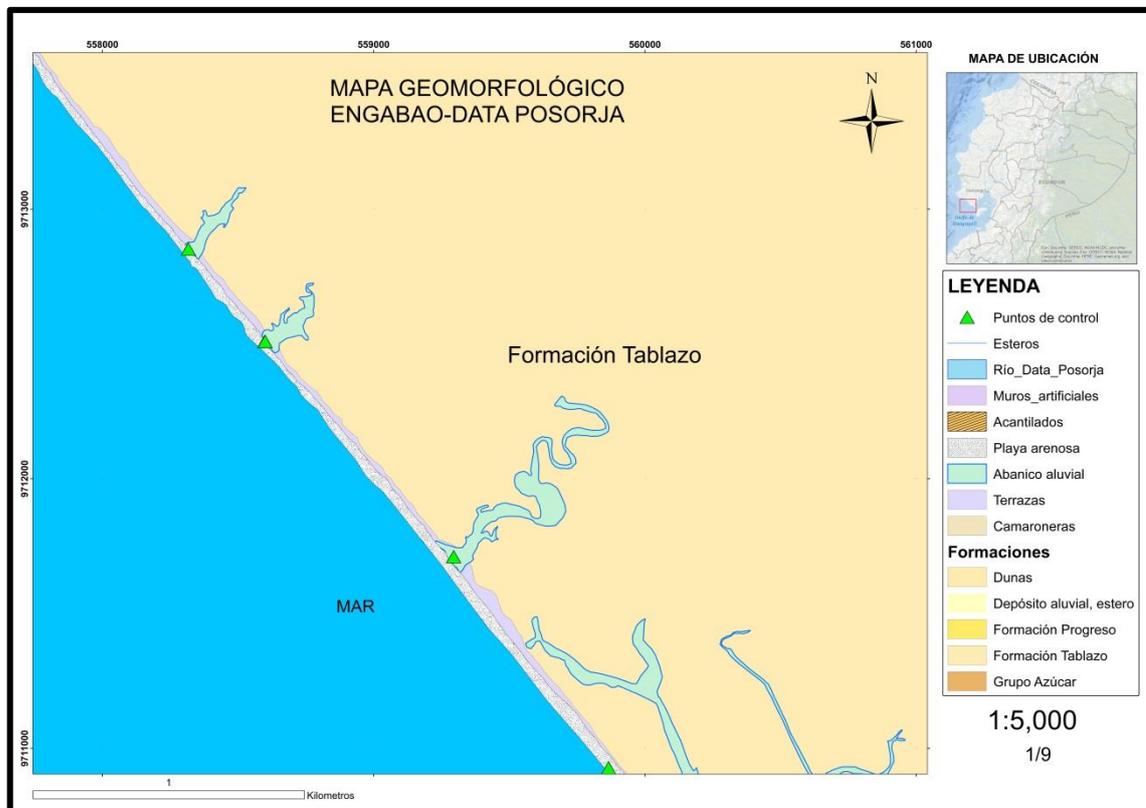
- Saa, A. (1988). Estudio de la concentración natural y artificial de arenas negras en General Villamil Playas, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil: pp. 192.
- Spikings R., Winkler W., Seward D., Handler R. (2001). Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters* 186, pp. 57-73.
- STGR, (2010), Guía de introducción de una Variable de Riesgo en Infraestructura, Secretaria Técnica de Gestión de riesgo Página 109-110, Publiasesores Cia. Ltda. Quito – Ecuador
- Suárez, P. (2010). Muelle de Servicio Isla Santay. Sistema de Información Marino Costero de Ecuador.
- Trenkamp, R., Kellogg, J. Freymueller, J. & Mora, P. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations, *Journal of South American Earth Sciences*, 15, pp. 157-171.
- Winckell, A., Zebrowski, C., and Sourdat, M., 1997. Los Paisajes Naturales del Ecuador: Las regiones y paisajes del Ecuador. *Geografía Básica del Ecuador*, Tomo 2: Geografía Física. Instituto Geográfico Militar, Quito, pp. 417.
- Witt, C. (2007). Constraints on the tectonic evolution of the north Andean Block trailing tail: evolution of the Gulf of Guayaquil-Tumbes basin and the intramontane basins of the central Ecuadorian Andes, Tesis de grado, pp. 74.

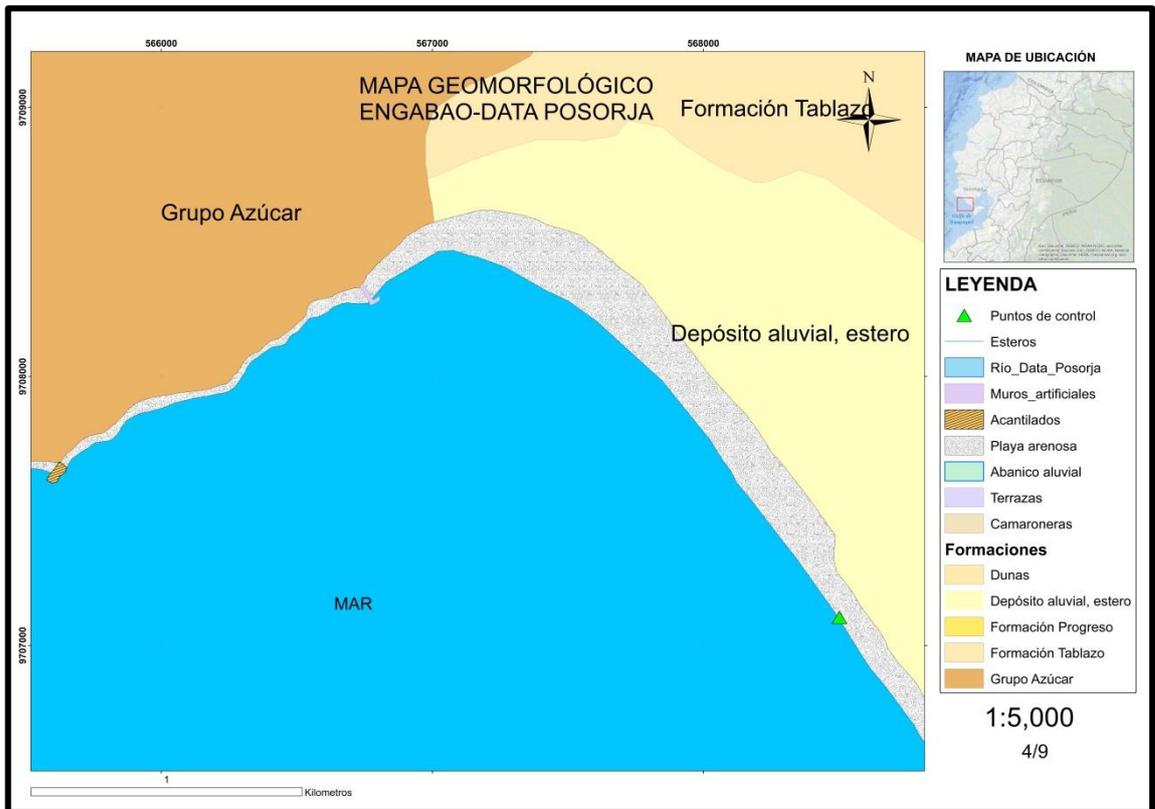
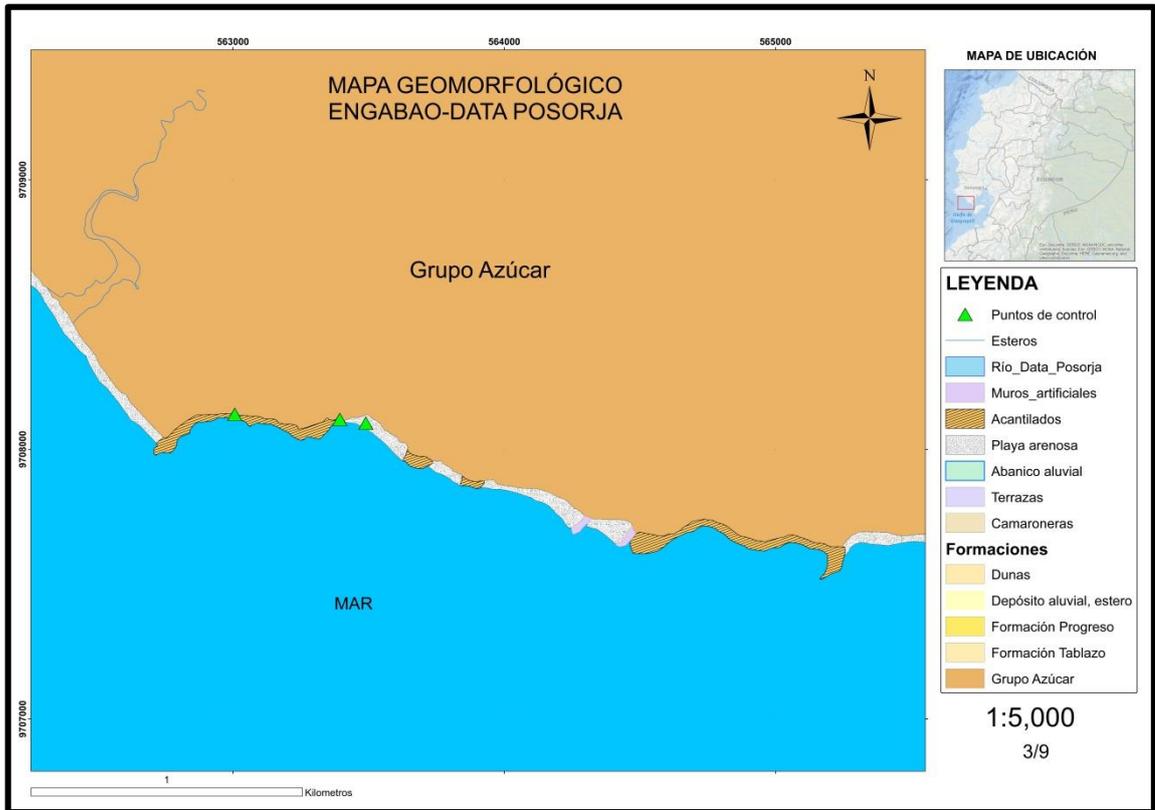
- Witt, C., Bourgois, J., Michaud, F., Ordóñez, M., Jimenez, N., and Sosson, M. (2006). Development of the Gulf of Guayaquil (Ecuador) during the Quaternary as an effect of the North Andean block tectonic escape. *Tectonics*. 25: pp. 22.

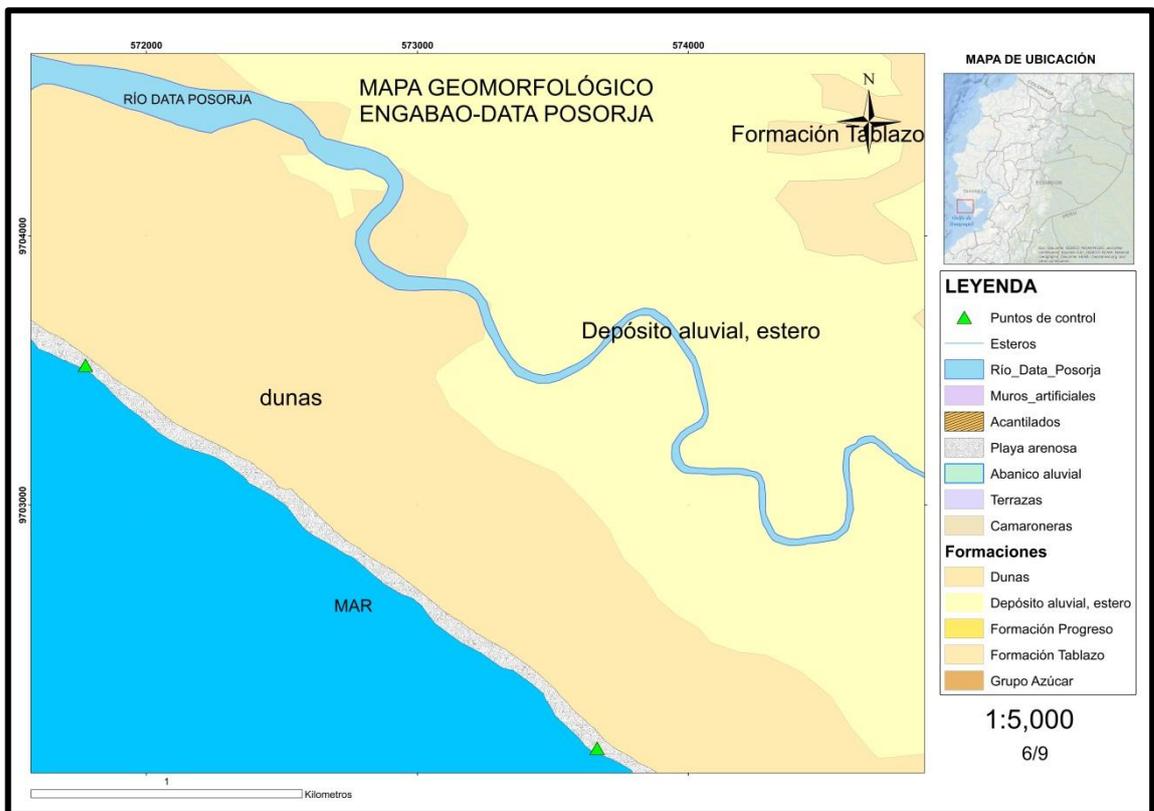
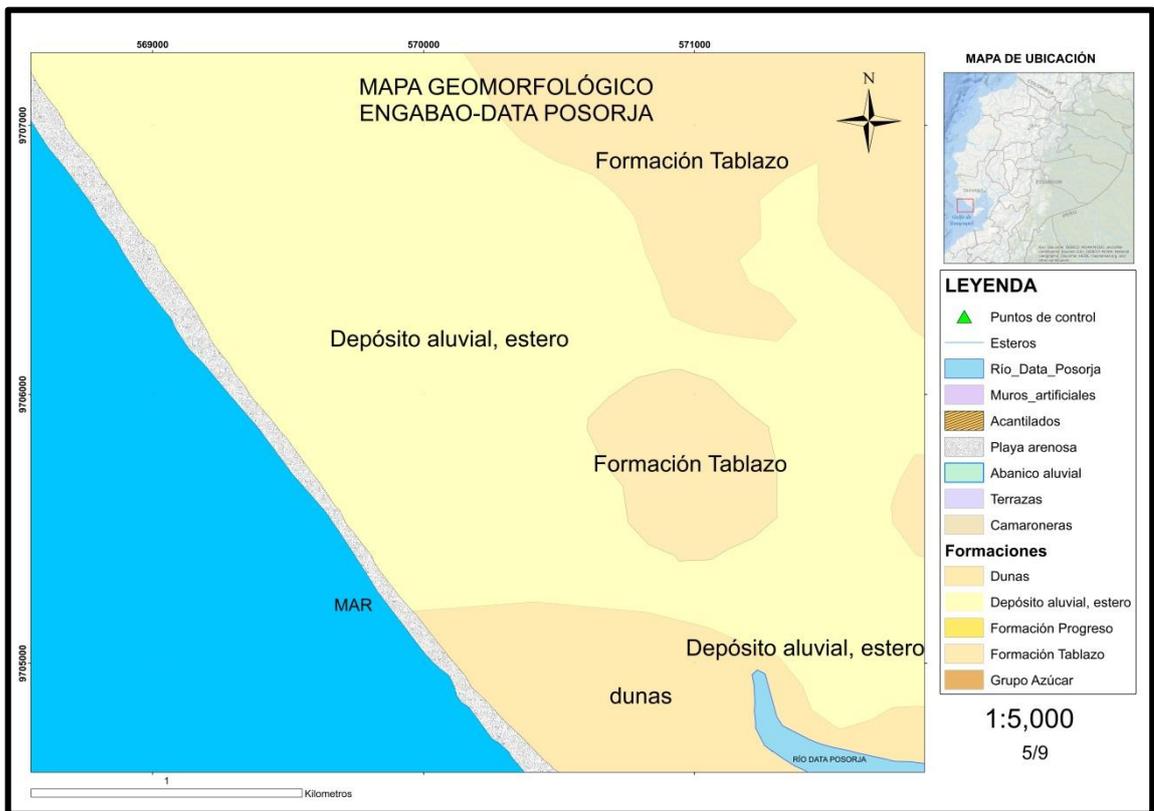
ANEXOS.

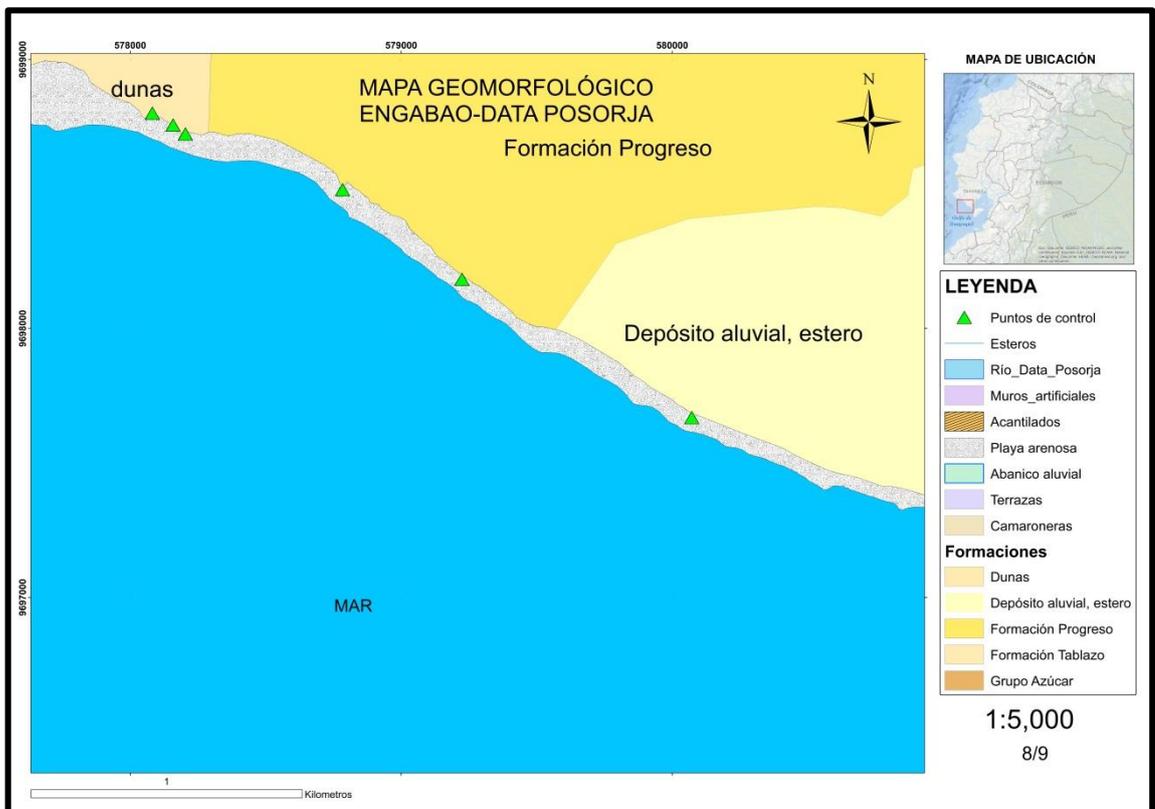
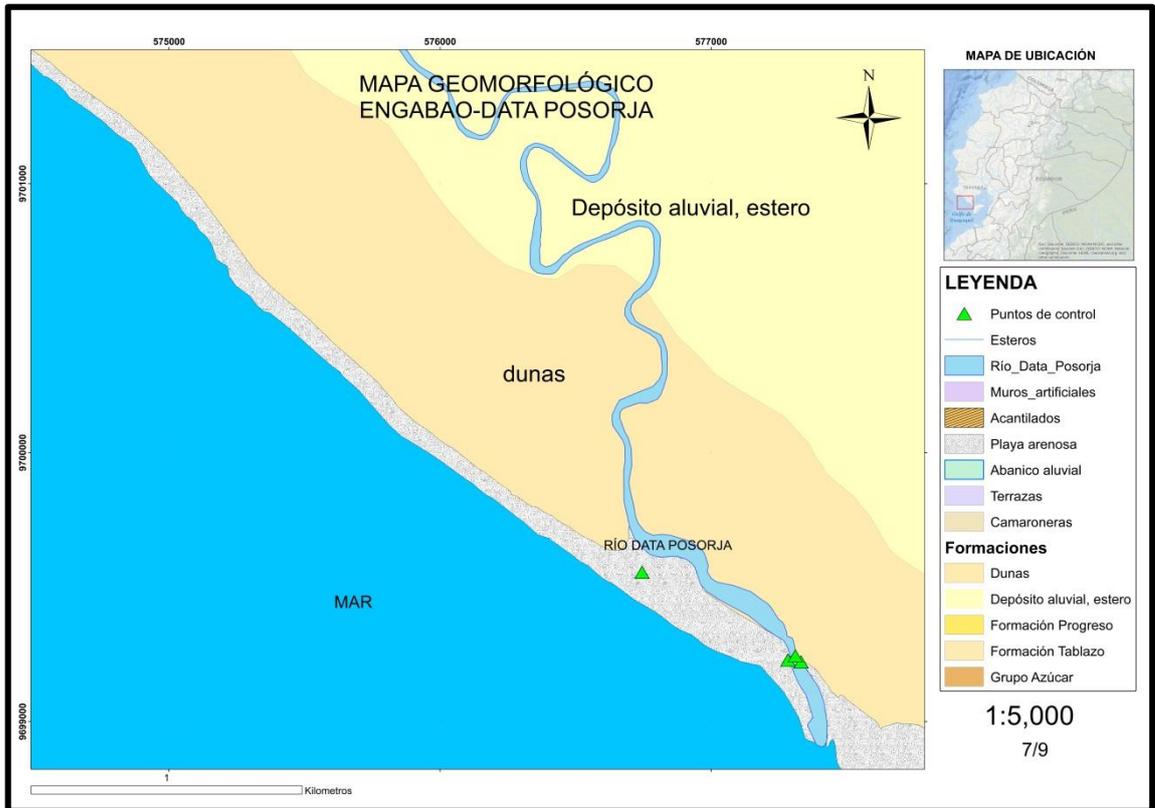
Anexo 1 Perfiles Sísmicos

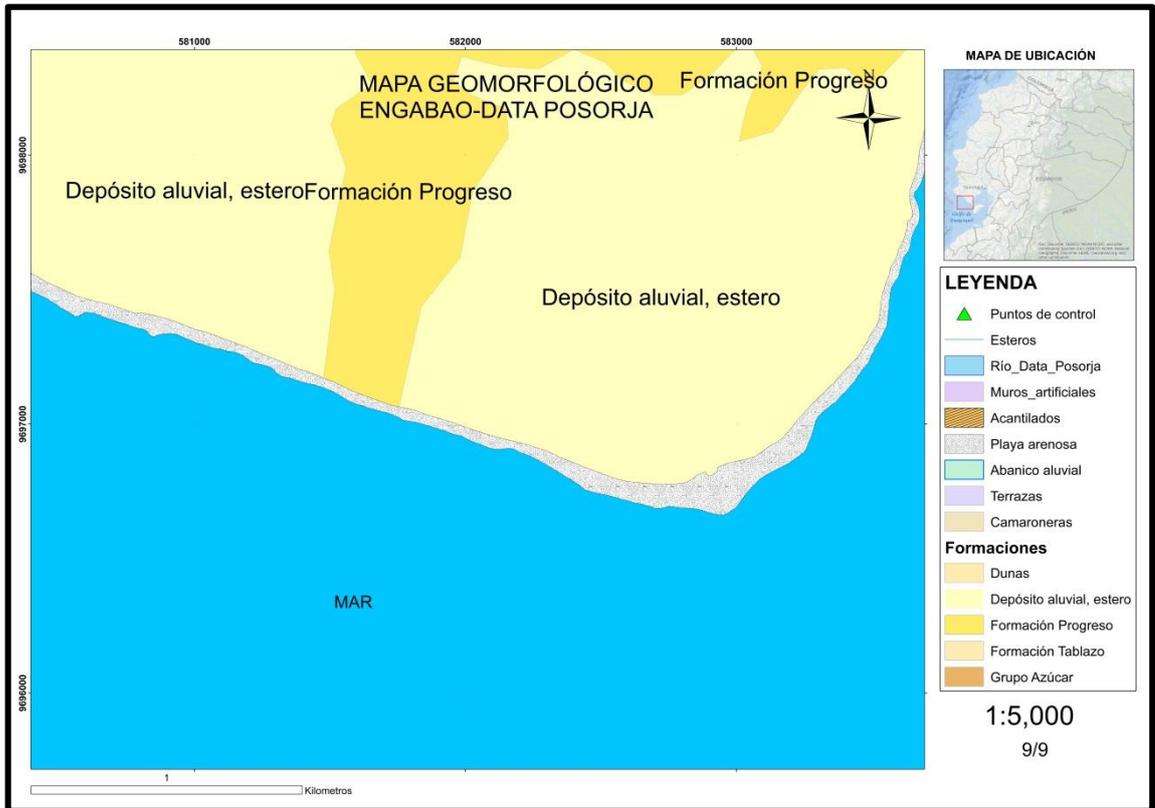
Anexo 2 Mapas Geomorfológicos.











Anexo 3 Mapas de Análisis de línea de costa por tramos.

