
PUERTO MARITIMO DE GUAYAQUIL



FASE II - CAPITULO 8

Geología, Geotecnia, Sedimentos de Subfondo y Sísmica de Refracción

Realizado por:



Preparado para:



Guayaquil, Febrero del 2012



TABLA DE CONTENIDO

8	GEOLOGÍA, GEOTECNIA, SEDIMENTOS DE SUBFONDO Y SÍSMICA DE REFRACCIÓN.....	8-6
8.1	Geología Regional del Canal de Navegación de Acceso	8-6
8.1.1	Introducción.....	8-6
8.1.2	MARCO TECTONICO Y SEDIMENTOLÓGICO	8-6
8.1.3	DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DOMINIOS ESTUARINO-DELTAICO.....	8-10
8.1.4	EL DELTA Y EL ESTUARIO DEL GUAYAS	8-11
8.1.4.1	EL DELTA DEL GUAYAS.....	8-11
8.1.4.1.1	EL DELTA SUBAEREO	8-11
8.1.4.1.2	DELTA SUBACUOSO O PRO-DELTA.....	8-13
8.1.4.2	EL ESTUARIO DEL GUAYAS	8-13
8.1.5	MORFOLOGIA DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL	8-17
8.1.6	FACIES SEDIMENTARIAS	8-19
8.1.6.1	FACIES DELTAICO-ESTUARINAS.....	8-20
8.1.6.2	FACIES DE PLATAFORMA	8-22
8.1.6.3	FACIES DE TALUD.....	8-23
8.1.7	SEDIMENTOS DEL ESTERO SALADO	8-24
8.2	Geotecnia del Canal	8-28
8.3	Objetivos de la investigación.....	8-29
8.4	Alcances	8-29
8.5	Determinación del sub-fondo del canal	8-30
8.5.1	Ensayos bajo sistema vibracore y sistemas mecánicos.....	8-30
8.5.1.1	Sistema Vibracore	8-30
8.5.1.1.1	Ubicación de sondeos.....	8-30
8.5.1.1.2	Equipos empleados	8-33
8.5.1.1.2.1	Embarcación.....	8-33
8.5.1.1.2.2	Embarcación de apoyo	8-33
8.5.1.1.2.3	Puntas tipo VIBROCORE.....	8-34
8.5.1.1.2.4	Compresor	8-34
8.5.1.1.2.5	Tubería de PVC	8-34
8.5.1.1.2.6	Tulipas	8-34
8.5.1.1.2.7	Placas.....	8-34
8.5.1.1.2.8	Tapas de identificación	8-34
8.5.1.1.2.9	Herramientas menores.....	8-34
8.5.1.1.2.10	GPS.....	8-34
8.5.1.1.2.11	Radios	8-34
8.5.1.1.2.12	Cámara Fotográfica	8-35
8.5.1.1.2.13	Otros.....	8-35
8.5.1.1.3	Procedimiento en Campo.....	8-35
8.5.1.1.4	Muestreo en la primera campaña (fría-seca).....	8-36
8.5.1.1.5	Muestreo en la segunda campaña (cálida-húmeda).....	8-37

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-2



8.5.1.1.6	Condiciones de marea	8-37
8.5.1.1.7	Método de Muestreo en Laboratorio	8-38
8.5.1.1.8	Resultados.....	8-40
8.5.1.2	Perforaciones	8-40
8.5.1.2.1	Ubicación de sondeos.....	8-40
8.5.1.2.2	Equipos empleados	8-42
8.5.1.2.2.1	G.P.S.....	8-42
8.5.1.2.2.2	Cámara Fotográfica	8-42
8.5.1.2.2.3	Equipo de Protección Personal.....	8-42
8.5.1.2.3	Procedimiento en Campo.....	8-42
8.5.1.2.4	Condiciones de marea	8-44
8.5.1.2.5	Método de Muestreo en Laboratorio	8-45
8.5.1.2.6	Resultados.....	8-45
8.5.2	Ensayos Geofísicos.....	8-45
8.5.2.1	REMI	8-45
8.5.2.1.1	Ubicación de sondeos.....	8-46
8.5.2.1.2	Equipos empleados	8-47
8.5.2.1.2.1	G.P.S.....	8-47
8.5.2.1.2.2	Cámara Fotográfica	8-47
8.5.2.1.2.3	Dispositivo de explosión.....	8-48
8.5.2.1.2.4	Hidrófonos.	8-48
8.5.2.1.2.5	Sismógrafo.....	8-48
8.5.2.1.2.6	Equipo de Protección Personal.....	8-49
8.5.2.1.3	Procedimiento en Campo.....	8-49
8.5.2.1.4	Condiciones de marea	8-51
8.5.2.1.5	Interpretación de Resultados	8-51
8.5.2.1.6	Resumen de Resultados.....	8-53
8.6	Determinación de los tipos de fondo a diferentes profundidades de dragado.....	8-54
8.7	Análisis de estabilidad de taludes de las condiciones actuales del canal	8-55
8.7.1	Análisis mediante el método de elementos finitos.....	8-55
8.7.2	Análisis de estabilidad mediante PLAXIS V.9	8-56
8.7.3	Análisis de las condiciones actuales.....	8-56
8.8	Análisis de las condiciones actuales	8-58
8.9	Bibliografía.....	8-61
8.10	Anexos.....	8-63
8.10.1	Anexo A: Registros de cada una de las muestras.....	8-63
8.10.2	Anexo B: Reportes los ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Hidrómetro y Gravedades específicas	8-64
8.10.3	Anexo C: Planos.....	8-65



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ubicación en planta de los sondeos con vibrocore	8-30
Tabla 2 Resumen de sondeos de exploracion de la campaña (Draga Manual)	8-38
Tabla 3. Coordenadas de las perforaciones realizadas	8-40
Tabla 4. Resumen de sondeos de exploracion de la campaña (Draga Manual)	8-44
Tabla 5 Grafico de Mareas del Canal de Acceso (20 y 21 de Enero del 2012)	8-46
Tabla 6 Modelo geotécnico basado en la perforación EG5. (F/S: Fin del sondeo)	8-56
Tabla 7 Modelo geotécnico basado en la perforación EG4. (F/S: Fin del sondeo)	8-57

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-4



INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sector canal de acceso Puerto Marítimo de Guayaquil.....	8-29
Figura 2 Ubicación en planta de los sondeos realizados en la primera campaña exploratoria (fría –seca)	8-31
Figura 3 Ubicación en planta de los sondeos realizados en la primera campaña exploratoria (cálida-húmeda)	8-32
Figura 4 Sector Puerto Marítimo de Guayaquil (Estero Cobina).....	8-33
Figura 5 Grafico de Mareas del Canal de Acceso (20 y 21 de Enero del 2012)	8-41
Figura 6. Grafico de Mareas del Canal de Acceso (20 y 21 de Enero del 2012)	8-41
Figura 7. Grafico de Mareas del Canal de Acceso (20 y 21 de Enero del 2012)	8-46
Figura 8. Grafico de Mareas del Canal de Acceso (20 y 21 de Enero del 2012)	8-47
Figura 9. Grafico de Mareas del Canal de Acceso (20 y 21 de Enero del 2012)	8-47
Figura 10. Vista en planta localización de los perfiles analizados	8-55
Figura 11 Modelo del talud del fondo y subfondo marino caracterizado con la perforacion EG5.....	8-57
Figura 12. Modelo del talud del fondo y subfondo marino caracterizado con la perforacion EG4.....	8-58
Figura 13. Diagrama de la superficie de falla potencial usando el sector de EG4	8-59
Figura 14. Variacion del factor de seguridad.....	8-59
Figura 15. Diagrama de la superficie de falla potencial usando el sector de EG4	8-60
Figura 16. Variacion del factor de seguridad.....	8-60

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-5

8 GEOLOGÍA, GEOTECNIA, SEDIMENTOS DE SUBFONDO Y SÍSMICA DE REFRACCIÓN

8.1 Geología Regional del Canal de Navegación de Acceso

8.1.1 Introducción

El accidente costanero más sobresaliente de la costa ecuatoriana es el Golfo de Guayaquil, en el cual desembocan las aguas de la cuenca del río Guayas que es la cuenca hidrográfica más grande de la Zona Litoral del Ecuador y la más importante de la costa occidental de América.

La importancia del Golfo de Guayaquil desde el punto de vista geográfico nos da solamente una idea general de su verdadero valor. Sus peculiares características morfológicas e hidrológicas han permitido el desarrollo exuberante de variadas biocenosis cuya explotación actual o potencial constituyen un baluarte principal de la economía de la región.

Por otro lado, las aguas del Golfo y del río Guayas son la vía más antigua y aún la más importante del país para la navegación de buques -entre éstos los de gran calado- que llegan actualmente a Puerto Marítimo al Sur de Guayaquil a través del Estero Salado entrando por Posorja (Fig. 1). Esta actividad humana es el primer baluarte del comercio del Ecuador con el resto de los países del mundo.

De allí la importancia que tienen los estudios ambientales, sean climáticos, hidrográficos, morfológicos o sedimentológicos para establecer con exactitud las condiciones ecológicas de esta zona que permitirán normar las condiciones óptimas para la explotación de sus recursos físicos y biológicos.

El propósito de este trabajo es pues presentar las características sedimentológicas actuales del Golfo de Guayaquil centrando la atención a la zona de estudio, el Estero Salado. Vale mencionar las palabras de Pierre Goosens (1970): “Desde el punto de vista sedimentológico el Delta del Golfo de Guayaquil es una fuente de conocimientos inagotable”.

8.1.2 MARCO TECTONICO Y SEDIMENTOLÓGICO

El Estero Salado es desde el punto de vista geomorfológico una *bahía lateral o adyacente* del delta que forma el Río Guayas en su desembocadura entre la ciudad de Guayaquil y la isla Puná.

El delta o llano deltaico está conformado por las islas en formación, rodeadas de manglar y circundadas por innumerables esteros de agua salobre, que se encuentran desde la ciudad de Guayaquil hasta el Estero Puná Norte de dirección E-O (Fig. 1 y 2). El carácter rectilíneo del Estero Salado se debe probablemente a su alineación con una falla de la misma orientación que toma su nombre, la misma que sería una falla

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-6

activa al haberse encontrado varios hipocentros de sismos alineados con esta falla (Fig. 3).

Figura 1 Mapa de localización y Marco Geológico del Estero Salado.



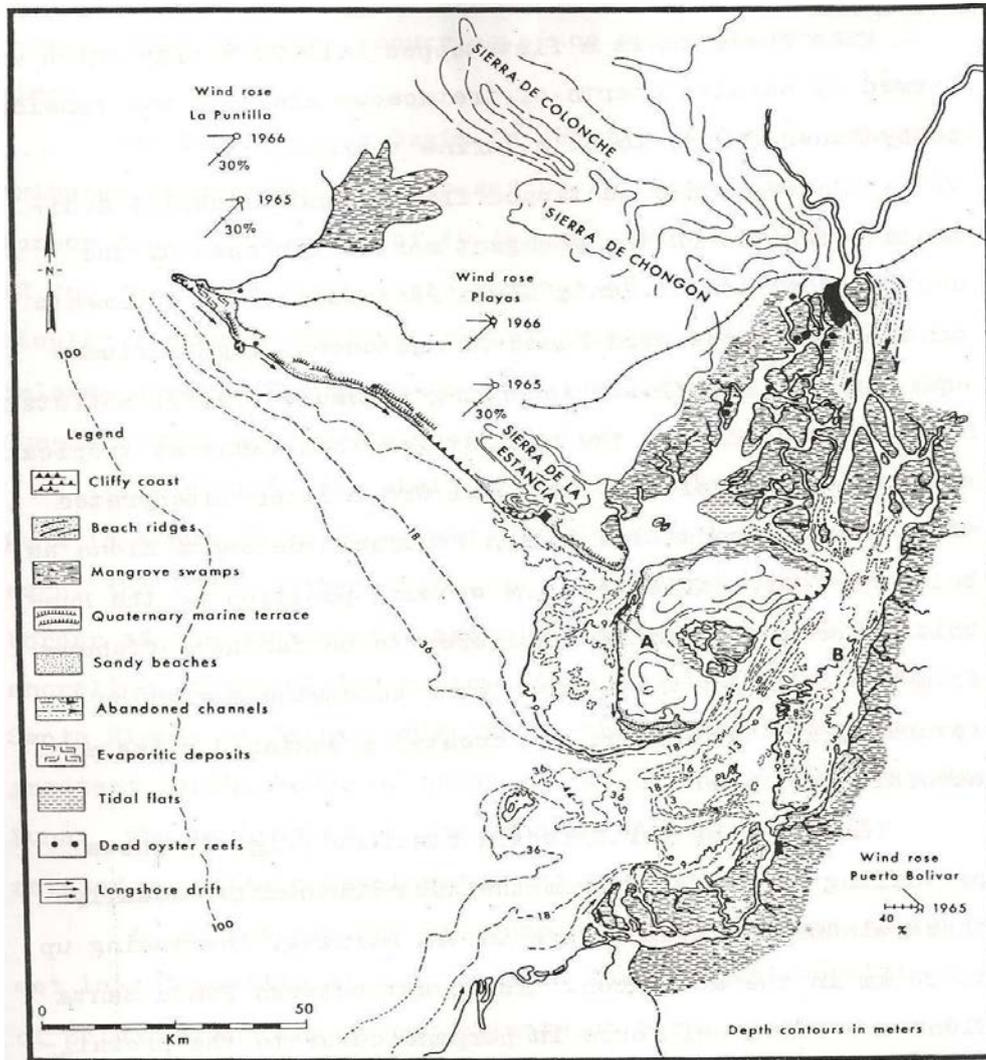
Simbología: QT= Cuaternario- form. Tablazo; Plp= Plioceno-form. Puná; Mp=Mioceno-form. Progreso; PcEA= Paleoceno-form. Azúcar; Kk= Cretáceo-form. Cayo; Kp= Cretáceo Inf.-form. Piñón

El delta del Guayas se encuentra limitado al Oeste por la *Bahía Estero Salado* la cual es a su vez el límite oriental de la Cuenca Progreso de orientación NO-SE. Hacia el E el llano deltaico se encuentra limitado por la línea de costa irregular entre Naranjal y Taura, la que representa el límite con los depósitos aluviales que continúan en transición hacia el Este con los abanicos aluviales que constituyen los piedemontes actuales de la cordillera Occidental Andina.

La cuenca Progreso (Fig. 1) es una zona de depósitos sedimentarios importantes durante el Terciario (Oligoceno a Plioceno, 35 a 2 Ma). La orientación NO-SE de esta cuenca se debe a las importantes fallas La Cruz al S y Carrizal al N de la misma dirección. La sedimentación activa culminó en el Plioceno a causa del levantamiento general de la costa ecuatoriana, fenómeno que continúa hasta el día de hoy con tasas muy bajas, desde el Cuaternario antiguo (Pleistoceno) provocando la formación de las terrazas marinas levantadas (Tablazos) que aparecen en el borde costanero ecuatoriano desde Esmeraldas hasta la isla Puná.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consultoría	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-7

Figura 2 Modelo deltaico de Cruz R. (1974): Morfología, batimetría, puntos nodales (A y B) y un bajo lineal (C).



La isla de Puná es la isla más grande del Golfo de Guayaquil, con colinas en su parte oriental que llegan a los 200 msnm y terrazas marinas planas levantadas entre 10 y 20 msnm en la parte occidental. La naturaleza geológica de la isla Puná es muy diferente a la de las islas del llano deltaico. Allí afloran rocas de edad terciaria que corresponden al relleno de una cuenca que se denomina Cuenca o “Graben” de Jambelí que es una continuación hacia el Sur de la Cuenca Progreso y que presenta un eje ortogonal (NE-SO). Este eje es debido a la influencia de la gran falla Guayaquil que ha sido capaz de levantar los sedimentos pliocenos de la isla a alturas >200 m en los cerros Zambapala del sureste.

El basamento de la corteza terrestre no aflora en ninguna de las cuencas que circundan por el Oeste y el Sur al llano deltaico del Guayas, por su condición de ser áreas subsidentes. Sin embargo, se conoce en el propio llano deltaico del Río Guayas varias islas como la isla San Ignacio y Mondragón y hacia el Este en los cerros de Churute y Masvale, donde afloran rocas básicas, muy fracturadas y algo metamorfizadas de la Fm Piñón, de edad Cretáceo, consideradas como corteza oceánica (Moreno et al, 1983). Hacia el Este en las estribaciones de la Cordillera Occidental el sustrato está constituido por rocas sedimentarias, ígneas básicas, y

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consultsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-8



metamórficas de edad cretácica, no bien cartografiadas ya que se encuentran bajo la única denominación de Fm Macuchi.

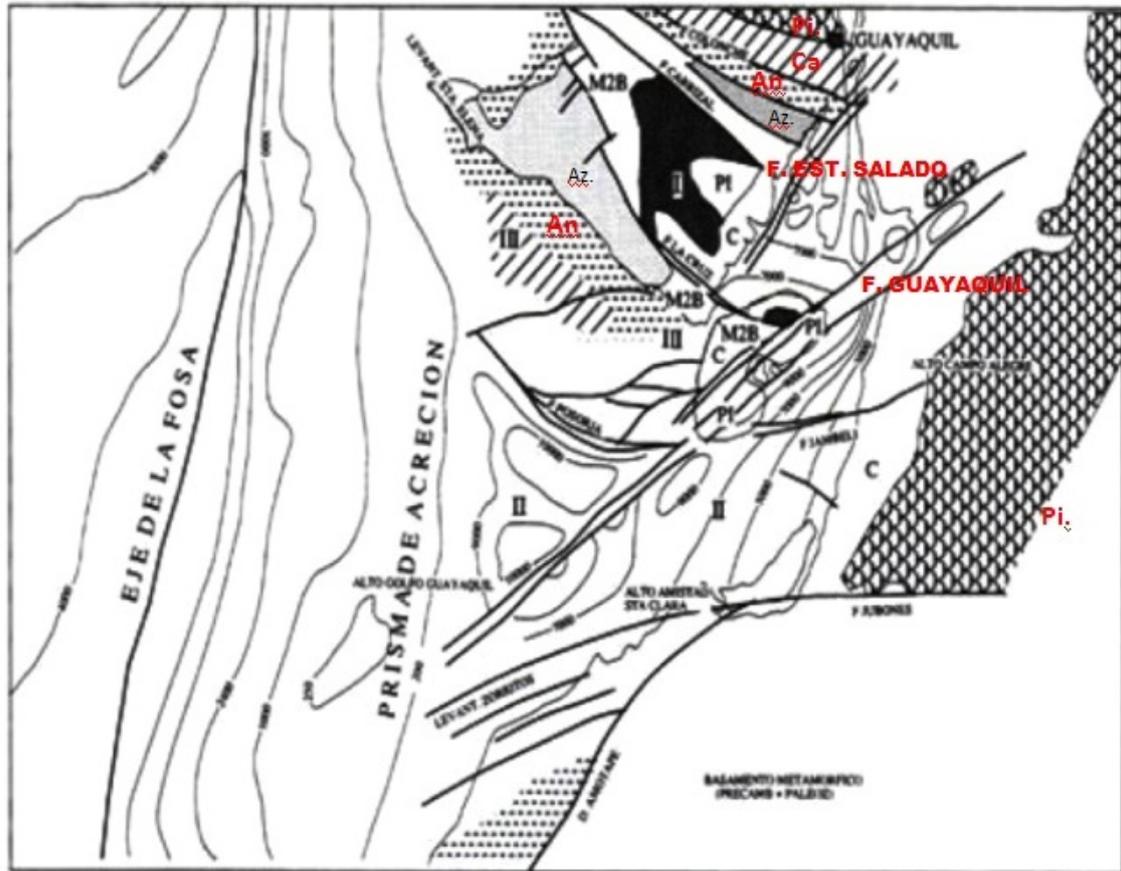
Es decir que el llano deltaico se desarrolla sobre un levantamiento del basamento y que el delta como tal no presenta una potencia muy grande tal como ya se ha definido en estudios geológicos efectuados en la ciudad de Guayaquil donde los sedimentos actuales del Estero Salado y del río Guayas alcanzan espesores entre 60 y 70 m. Esto significa que la edad del delta es Holoceno Reciente y su origen se remonta a la última elevación del nivel del mar que se debió a su vez al inicio del último período de desglaciación terrestre, fenómeno global que comenzó hace unos 18.000 años de acuerdo a numerosos estudios realizados en todo el mundo.

Lo que se conoce como Graben Jambeli no es en realidad un graben sino una amplia zona de -deformación causada por el movimiento transcurrente dextral de la Falla Guayaquil de dirección NE-SO (Fig. 3). La falla misma forma una serie de altos estructurales como la Isla Santa Clara, el Campo Amistad, los cerros Zambapala y Mala en la Isla Puna entre otros, formados por movimientos transpresivos los cuales han sido objeto de una intensa exploración petrolera y también de pequeñas cuencas que han sufrido subsidencia durante el Neógeno y especialmente durante el Plioceno.

El movimiento dextral actual de la Falla Guayaquil (Fig. 3) ha sido evidenciado recientemente por Winter y Lavenu (1988) en la zona de Pallatanga al NE de Guayaquil y su movimiento estimado por Lavenu et al (1994) entre 3 y 4 mm/año. El inicio de la Falla Guayaquil no ha sido datado. Según los datos que hemos indicado es seguro que funcionó durante el Plioceno y también probablemente durante el Mioceno Medio y Superior períodos en los que se reportan también altas tasas de sedimentación (Fm Progreso) aunque más bajos que los reportados en el Plioceno, posiblemente porque los datos de que disponemos corresponden a altos estructurales que habrían funcionado desde esa época.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-9

Figura 3 Mapa simplificado del SO del Ecuador mostrando los rasgos principales de las cuencas Progreso y Jambeli.



Simbología: C= Cuaternario, PI= Plioceno, en negro Mioceno Medio-Superior (Fm. Progreso), M2B= Mioceno Inferior (Fm 2 Bocas-Villingota-Subibaja), Az= Paleoceno (Grupo Azucar), An= Eoceno Medio-Superior (Grupo Ancón), Ca= Fm. Cayo (Cretáceo Superior), Pi= Basamento Piñón, I= Cuenca Progreso, II= Cuenca Jambelí, III= Levantamiento Santa Elena. Las curvas batimétricas en m representan el basamento, F= falla regional.

8.1.3 DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DOMINIOS ESTUARINO-DELTAICO

Estuario es en realidad un concepto que se opone en cierta manera al de *delta* pero no se excluyen el uno del otro, sino más bien se complementan.

El *estuario* es el cuerpo de agua formado por la mezcla de agua del mar y el agua dulce del río, por lo tanto el estuario está formado por aguas salobres; es un rasgo geomorfológico acuoso asociado con una transgresión del mar sobre la línea de costa.

El *delta* en cambio es la tierra ganada al mar alrededor de la desembocadura de un río por los depósitos de origen fluvial o costero, por lo que es un concepto ligado al de regresión de la línea de costa o avance sobre el mar.

Por lo indicado, ambos rasgos geomorfológicos coexisten con diversos grados de importancia, dependiendo del predominio de la energía marina o de la energía fluvial, llamándose a los primeros “dominados por el mar” y a los segundos “dominados por el río”. El delta-estuario del río Guayas es un sistema dominado por el mar y más

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consultsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-10

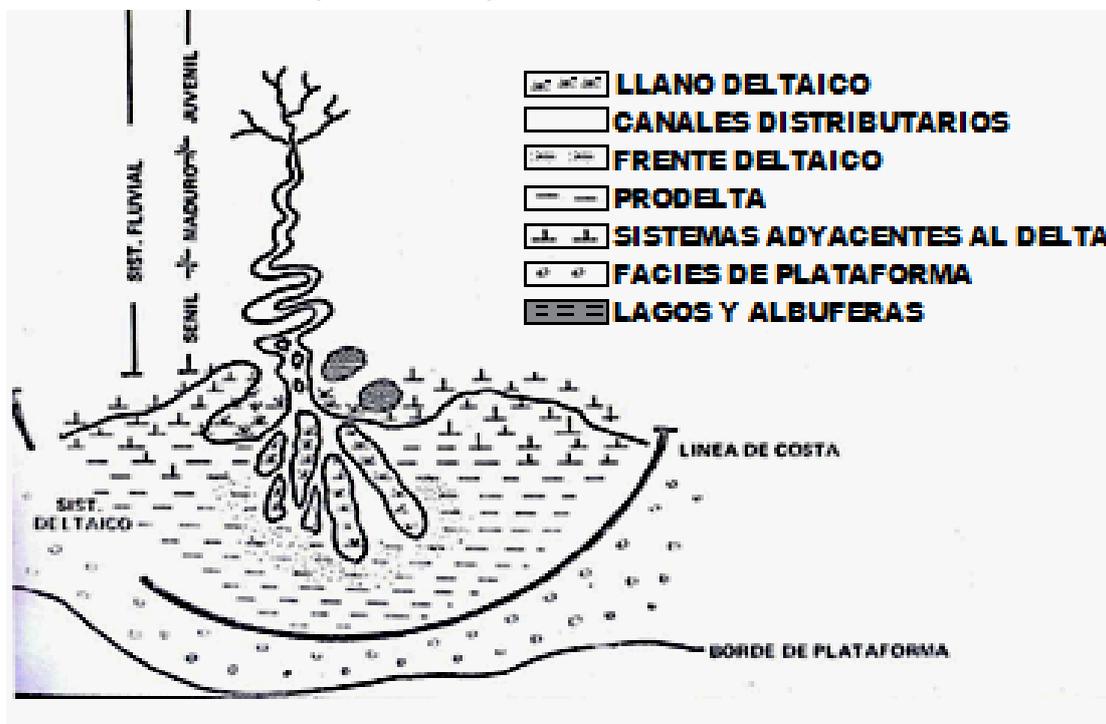
específicamente por las mareas por el hecho de tener un estuario muy desarrollado (el canal de Jambelí) y se caracteriza por un desarrollo deltaico en la parte más interior.

8.1.4 EL DELTA Y EL ESTUARIO DEL GUAYAS

8.1.4.1 EL DELTA DEL GUAYAS

De acuerdo a Benitez (1975) un delta en su definición más general es un sistema de sedimentación alimentado por un río que produce una progradación irregular de la línea de costa. Un delta presenta una gran variedad de facies sedimentarias con expresiones topográficas propias. Un modelo muy generalizado y sencillo de un delta es el de la Fig. 4.

Figura 4 Modelo generalizado de un Delta ideal



Por lo tanto un delta presenta facies subaéreas (llano deltaico) y subacuosas (delta subacuoso o prodelta).

8.1.4.1.1 EL DELTA SUBAEREO

La llanura deltaica propiamente dicha del río Guayas forma un triángulo con su vértice superior en Guayaquil y su base conformada por una línea arqueada que une los extremos meridionales de las islas Escalante, Verde, Mondragón, Malabrigo y los Ingleses. Los otros lados del triángulo lo constituyen el estero Salado al Oeste (su

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-11



ramal principal) y una línea que une los cerros de Durán, Taura y Masvale al Este. Su extensión total es de aproximadamente 900 km² (Fig. 1).

El río Guayas presenta un canal distributivo principal prácticamente recto de dirección N-S que se extiende desde Guayaquil hasta cerca de la Isla Puná. Este canal tiene dos bifurcaciones laterales en su margen oriental, las mismas que bordean a la Isla Matorrillos. En su margen occidental se presenta una triple bifurcación lateral a la altura de Pta. Alcatraz (2° 36' LS, Esteros Chupadores) que conecta al distributivo principal con el Estero Salado en su parte Sur. Existen datos históricos de que el canal principal tenía conexión con el Estero Salado en las cercanías de Guayaquil. Esta conexión debió jugar un papel importante en las características del Estero Salado.

La morfología del canal principal y de los diferentes esteros o canales es característico, presentando zonas acanaladas profundas por donde se trasladan importantes corrientes de marea y zonas someras de suave relieve que son "llanos lodosos".

Un carácter morfológico distintivo de un delta es la tendencia a la partición en dos del canal distributivo principal debido a la formación de una barra en su boca lo cual es indicio de que se produce una sedimentación rápida de la carga fluvial. Al mismo tiempo se produce la profundización de los canales adyacentes a la barra para compensar la disminución de la sección. Este carácter se presenta en la boca del canal principal del Guayas siendo la Isla Bajo Mondragón el rasgo más evidente de este proceso (Mapas 1 y 2) que dividió al canal principal en dos partes; el canal occidental se profundizó; en el oriental se ha iniciado un nuevo proceso de bifurcación.

La existencia de los albardones ("leveés") naturales que encajonan al canal principal o distributivo es evidente en el margen occidental del canal, el mismo que constituye una franja de poca anchura, que se extiende continuamente desde Guayaquil hasta la Punta Alcatraz; esta franja es la que separa al canal principal del Guayas, del complejo de islas de la parte occidental del Delta y ha sido llamada frecuentemente Península de Guayaquil, En el margen oriental se evidencia el albardón natural por la inflexión del río Bulubulu cerca del cerro de Taura que corre luego paralelamente al margen del canal en vez de desembocar directamente en él.

La zona sur-Oriental del delta presenta una morfología algo diferente a la del delta típico; esto puede deberse a los aportes fluviales de los ríos Bulubulu, Churute y Naranjal que desembocan en esa zona.

La zona occidental del Delta o sea el complejo de islas del Estero Salado debe ser considerado en la actualidad como un sistema deltaico-lateral ya que no participa de la progradación fluvial en forma directa. El sistema es un conjunto intrincado de islas y canales de marea con formas sinuosas meandriformes. Estos canales son muy característicos y tienen anchuras que varían desde los 600 m (Canal San Ignacio) hasta los pocos metros. El control de la forma de estos canales parece ser la erosión y la depositación causadas por las mareas, pero en realidad no se han realizado aún estudios que confirmen esta hipótesis.

El Estero Salado tiene forma de embudo que se ensancha hacia el Sur donde se conecta con el canal distributivo principal a través del canal Puná Norte. Hacia el N de

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-12



este canal principal de conexión, el Estero Salado está conectado al Río Guayas por varios canales de marea siendo los principales los llamados "Chupadores" Grande y Chico que bordean a la isla de San Ignacio por su costado Sur y Este. Estas conexiones son claves para la comprensión de la dinámica global del delta ya que son la vía para la alimentación sedimentaria del Estero Salado. Este al desembocar en el Canal del Morro donde afloran rocas consolidadas tanto en la costa de Posorja como al frente en la isla Puná, logra excavar un canal de marea que alcanza su máxima profundidad de 50 m.

El canal de navegación a Puerto Nuevo o Marítimo (el puerto más moderno del Ecuador) localizado a lo largo del Estero Salado, es el canal principal de navegación con aguas profundas. La salinidad en este cuerpo de agua es generalmente más alta que en el Río Guayas; sin embargo, hay indicaciones que en el pasado reciente el Río Guayas ejerció mayor influencia que la que ejerce al presente. La única especie de conchas que habita en el presente en este estuario es *Ostrea columbiensis* que crece adherida a los árboles del manglar (cita de R. Cruz, 1974) aunque el descubrimiento de "arrecifes" o bancos de *Crassostrea corteziensis* muertos en posición vertical al sur de Guayaquil revela que en este ambiente estuarino existieron condiciones más marinas en un pasado reciente.

Finalmente los extensos llanos de marea que se hallan al Sur de las Islas Escalante, Verde, Mondragón son enormes planicies tipo playa arenosa, donde existen fuertes corrientes laterales bidireccionales, conjunto que representa en nuestro modelo el Frente del Delta.

Otros sistemas laterales serían el Estero Puná o Campo Alegre (en la Isla Puná), la costa Naranjal-Tenguel-Jubones y el Archipiélago de Jambelí, donde se dan condiciones deltaico-estuarinas y que merecerían por si mismo estudios más detallados.

8.1.4.1.2 DELTA SUBACUOSO O PRO-DELTA

Los depósitos sedimentarios que se presentan en los cuerpos de agua que flanquean la Isla de Puná hacia mar afuera son considerados la parte subacuosa del delta. Los caracteres más notables en esta área se correlacionan con las características estuarinas entre los estuarios orientales y occidentales. La bocana occidental –canal del Morro- despliega una desembocadura restringida, mientras que el estuario oriental –canal de Jambelí- es de desembocadura ancha. El primero se caracteriza por barras de desembocadura (del río), el último desarrolla geoformas sedimentarias (bedforms) características de ambientes de mareas altas en los cuales son comunes los *bajos lineales de marea* ("lineal tidalshoal") y canales de marea asociados como se muestran en el Canal de Jambelí. Una serie de ondículas de arena en el centro de este estuario los separan de los *bajos lodosos crenulados* que se extienden aproximadamente norte-sur a lo largo del borde oriental y en la esquina sur oriental de la Isla Puná.

El delta subacuoso rodea a la isla de Santa Clara (la cual es un levantamiento tectónico producto de la falla Guayaquil, donde afloran rocas sedimentarias del Plioceno) y se esparce sobre la plataforma continental formando extensos depósitos de limos arenosos.

8.1.4.2 EL ESTUARIO DEL GUAYAS

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consultsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-13



Un estuario es una entrante de la línea de costa que tiene las siguientes características:

- Una cuenca de depositación alargada que comienza en la desembocadura de un río y termina en la plataforma continental; es frecuentemente de forma funicular. Su origen es diverso.
- Aporte fluvial continuo.
- Suficiente conexión con el mar para permitir la mezcla continua del agua dulce con la salada.

Los factores que determinan el tipo de circulación dentro de un estuario son fundamentalmente las corrientes de marea (determinadas a su vez por la morfología de la cuenca) y el aporte fluvial. En realidad, lo que determina el carácter dinámico del estuario son los valores relativos de los dos factores antes mencionados. En el caso en que predomina la influencia del río el estuario es del tipo “denominado por el río” (Tipo A de Pritchard). A medida que aumenta la importancia relativa de la marea los estuarios pueden ser según Pritchard (1967): tipo B o mezclado parcialmente, Tipo C o verticalmente homogéneo, tipo D o sección homogénea. Este último sería del tipo “dominado por la marea”. En la Naturaleza existen todas las transiciones entre los cuatro tipos.

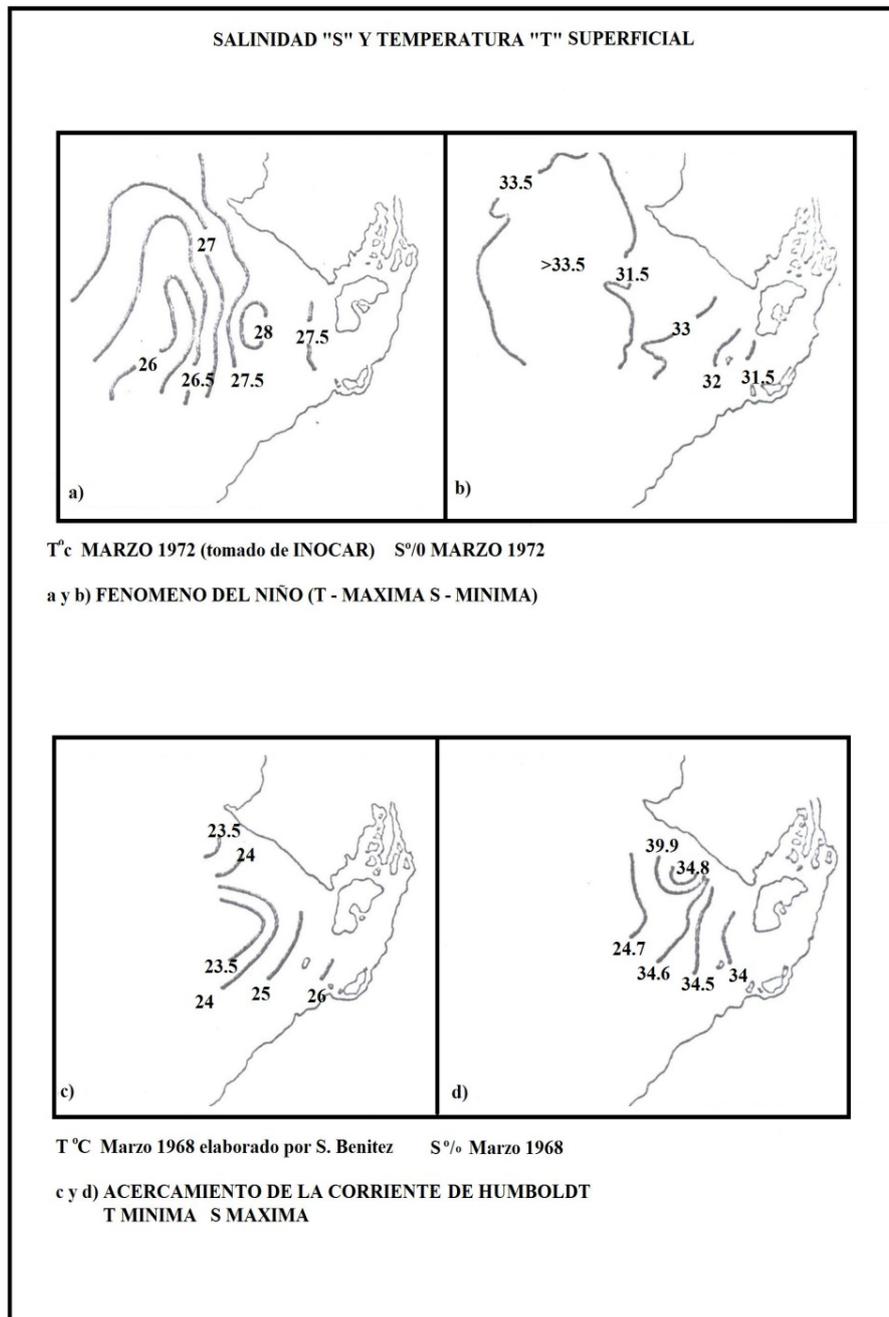
Para definir un estuario interesa establecer sus límites y su patrón de circulación y es lo que hacemos a continuación en el estuario del Guayas.

Se ha intentado poner como límite aguas arriba del estuario el alcance máximo de la marea. Sin embargo la marea avanza (aguas arriba) mucho más que el agua marina. Se sabe que la marea llega hasta cerca de Babahoyo (60 km al NE de Guayaquil en el río de Babahoyo) pero allí las salinidades se mantienen dentro de los límites del agua dulce (<0,1‰) durante todo el año (dato del Departamento de Limnología del INP). En Samborondón (30 km al NE de Guayaquil, río Babahoyo) las salinidades fluctúan entre 0,096‰ y 0,265‰ en un ciclo de marea (meses de Julio a Noviembre de 1974, Dato del Departamento de Limnología, INP), lo cual indica que hasta esa distancia aún llega, aunque débilmente, la influencia de la salinidad del agua marina. En el río Daule la influencia del agua marina avanza menos que en el Babahoyo encontrándose agua dulce todo el año a 25 km al NO de Guayaquil (Estación la TOMA), aunque en épocas de estiaje hasta la construcción de la represa Daule-Peripa las aguas de La Toma de AA PP se volvían ligeramente más salobres complicando el proceso de potabilización.

El límite aguas abajo del estuario está definido por la transición de las aguas salobres a las aguas oceánicas, la misma que fluctúa muy cerca del meridiano 80° 30' W; la influencia de las aguas salobres se hace sentir mucho más al Oeste durante los periodos de “El Niño” alcanzando el meridiano 80° 50' W (salinidad 33 ‰, Fig. 9); en cambio en los periodos de “Humboldt” las aguas oceánicas se acercan a la costa (salinidad 34‰ Fig. 9) y se adentran por los canales de Jambelí y del Morro.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-14

Figura 5 Patrones de Salinidad y Temperatura de aguas superficiales del golfo de Guayaquil; a y b) En períodos de El Niño; c y d) En períodos de acercamiento de la corriente de Humboldt o “Anti-Niño”.



Basados en el gradiente longitudinal de la salinidad y en criterios morfológicos podemos subdividir al estuario en tres partes:

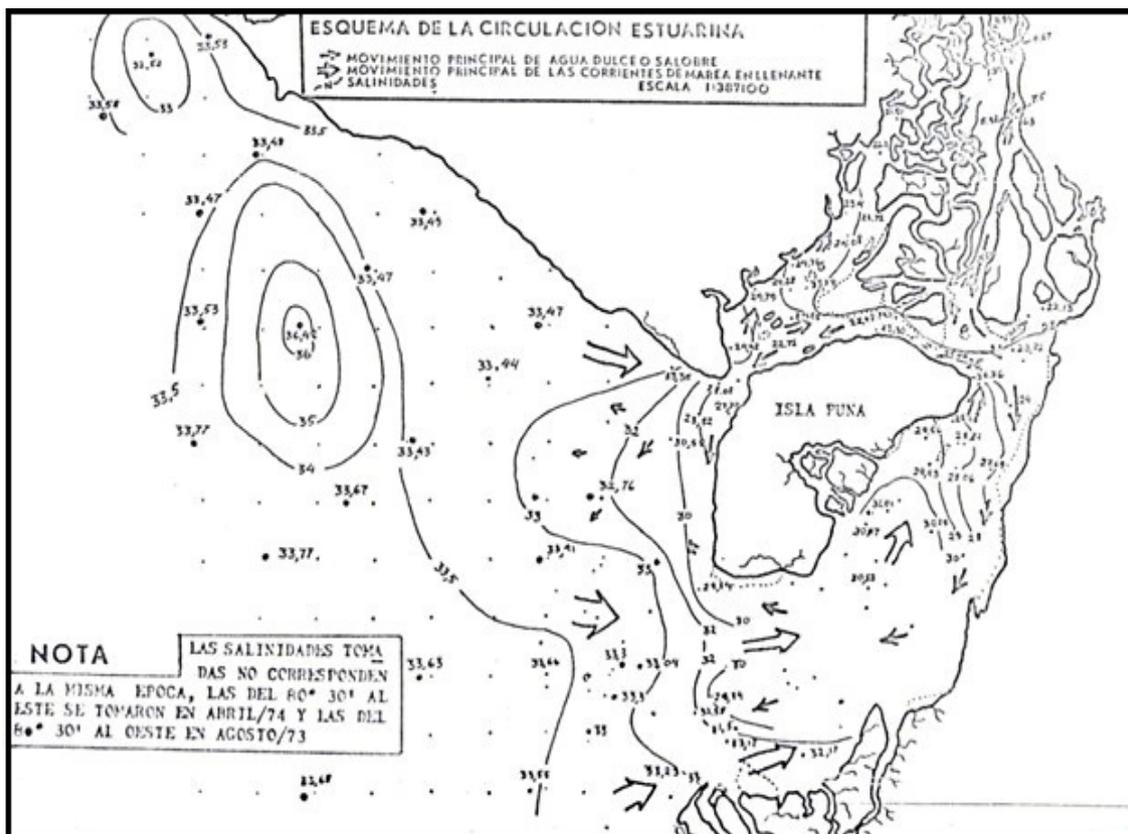
1. Estuario Superior o Interior que es propiamente el canal distributivo principal del Delta más la zona fluvial inundable. Presenta los mayores gradientes de salinidad desde prácticamente cero (agua dulce), hasta 27 ‰ en la estación seca durante el bajamar hasta 33 ‰ durante la pleamar en épocas muy secas (R. Cruz, 1974).

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consultoría	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-15

2. Estuario Inferior o Medio con sus ramales, el canal de Jambelí y el Canal de Puná Norte (en parte el Estero Salado al Sur) que se extiende hasta sus respectivas bocas bien definidas morfológicamente (meridiano $80^{\circ}16'$).

3. Estuario Exterior que sería la zona de transición entre el estuario Inferior (o Medio) y la plataforma. La variación de la salinidad es mínima ($<1\text{‰}$). Aquí el gradiente longitudinal de salinidad es más suave: de 31.5 a 33 ‰ en la estación lluviosa en época de un Niño, y de 34 a 34.6 ‰ en la estación lluviosa en épocas de acercamiento de la corriente de Humboldt.

Figura 6A Esquema de la circulación en las aguas del estuario, durante la subida de la marea.

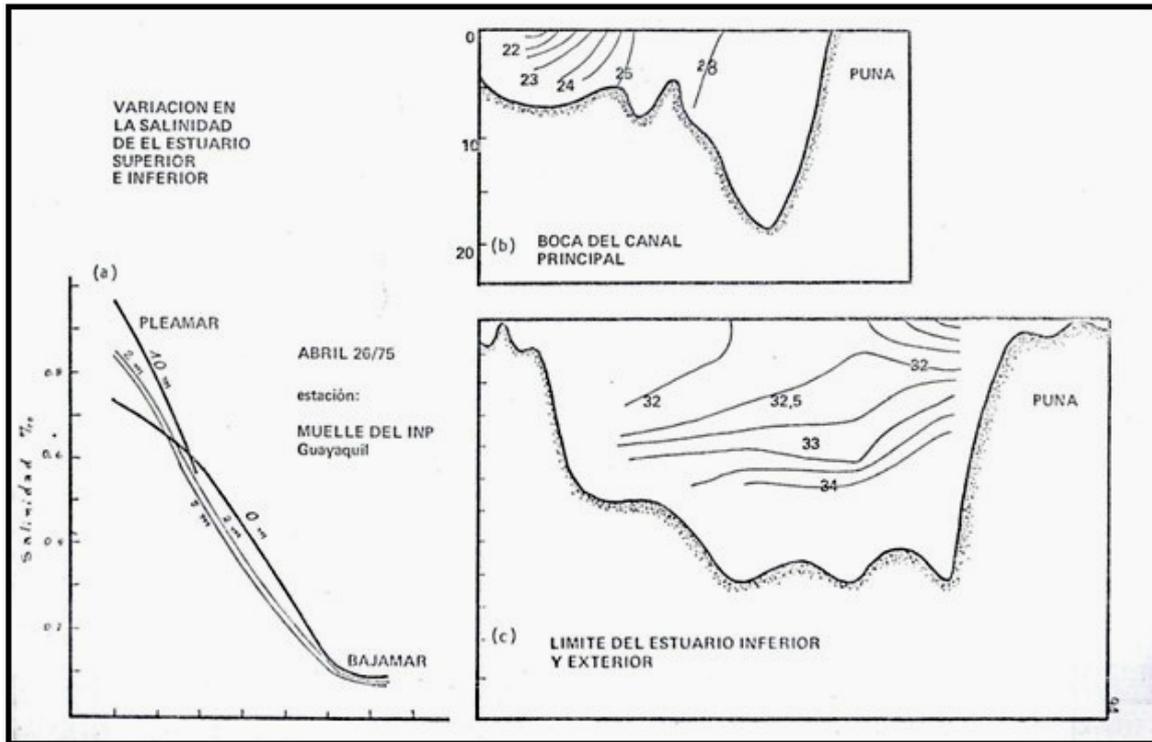


El Patrón de Circulación, puede ser definido en base al estudio detallado de las corrientes de marea. Desafortunadamente existen pocos datos oceanográficos que permitan ahondar sobre el tema. Como referencia se preparó la Fig. 6 donde se esquematizan aproximadamente los movimientos de las aguas en el estuario durante la subida de la marea.

En el estuario superior actúan más fuertemente las corrientes de marea produciendo patrones de circulación similares al tipo C (verticalmente homogéneo): En la estación del muelle INP (Guayaquil) se comprobó que en un instante dado los valores de salinidad son similares a varias profundidades (Fig. 7-a); lo mismo puede apreciarse en el trabajo de Stevenson (1970) (Fig. 7-b).

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consultoría	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-16

Figura 7 Variación de las salinidades en tres sitios del estuario: a. Muelle del INP en el canal distributivo o estuario superior o interior; b. Canal del Morro en el estuario medio a inferior; c. Boca del canal Jambelí.



(Fuente: Stevenson, 1970)

En la boca del Canal de Jambelí la acción de las mareas es menos fuerte y determina un patrón de circulación del tipo B (Fig. 7-c) donde se notan capas horizontales de diferente salinidad con un gradiente muy suave entre la superficie y el fondo.

Un aspecto muy importante del estuario es conocer la naturaleza de la carga sedimentaria y relacionarla con las corrientes. Los únicos datos que se tienen (que además son incompletos) son los de R. Cruz (1974) quien correlacionó los siguientes parámetros: carga sedimentaria, marea, velocidad de la corriente y la salinidad, en varias estaciones aisladas del estuario superior e inferior. El estudio indica que se producen fuertes corrientes con valores que oscilan entre cero y 150 cm/s. Los valores menores corresponden al cambio de marea, siendo mayores las corrientes durante la vaciante y aumentando hacia el fondo. Los valores de la carga sedimentaria tienen el mismo patrón de variación que las corrientes pero disminuyen netamente aguas abajo.

8.1.5 MORFOLOGIA DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL

Para describir el relieve submarino se lo divide en cuatro zonas (Fig. 8). La zona I es la que tiene menos de 20 m de profundidad y se presenta como una planicie elevada con respecto a la plataforma. En ella se distinguen cuatro sub-relieves principales clasificados como la, lb, lc y ld.

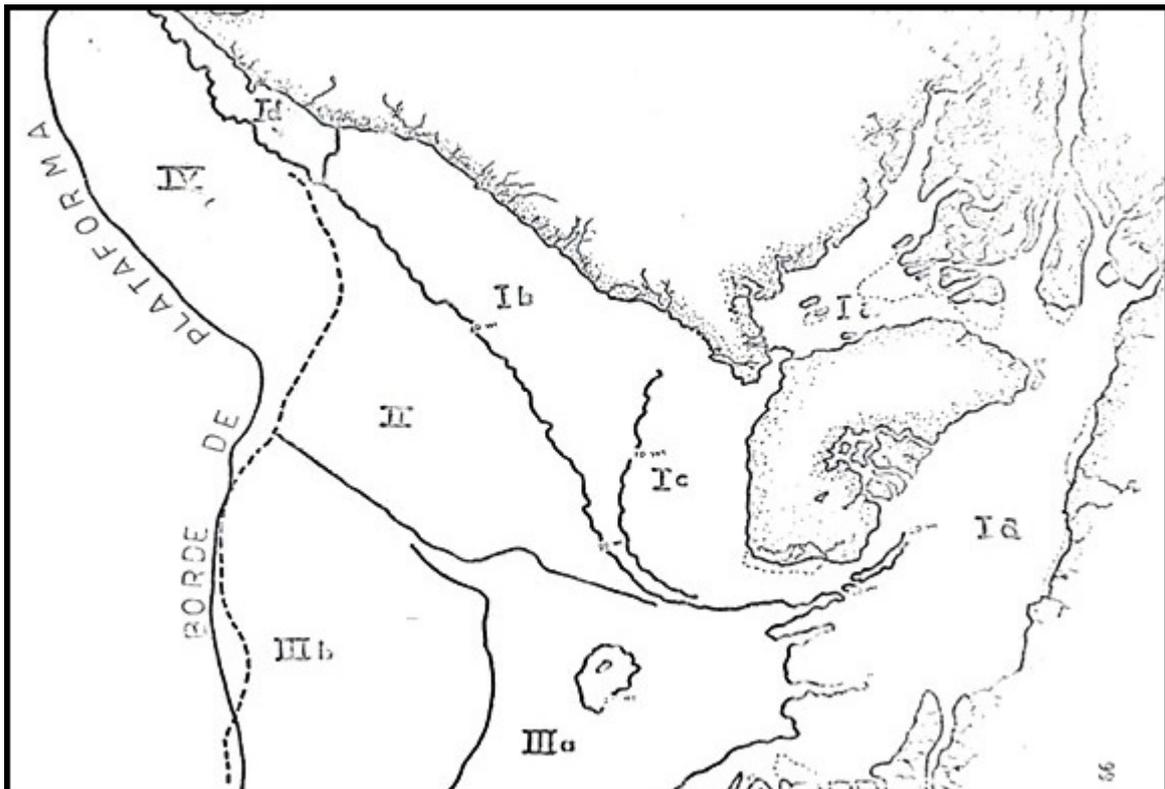
El relieve I-a forma parte del estuario inferior; en el se distinguen las formas acanaladas por donde circulan las corrientes de marea y formas planas o de suaves pendientes que evidencian una activa depositación, las pendientes varían

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-17

normalmente desde 0° hasta 30' siendo una excepción los altos valores que se observan en los canales de marea de El Morro y de la boca del canal Jambelí el canal adyacente a la Isla Puná.

El relieve **I-b** corresponde a una franja paralela a las costas rectilíneas entre Chanduy y Data, con una pendiente promedio menor que 4' ; presenta todas las características de una terraza de plataforma cuyo borde externo (20 m) marca una estabilización momentánea de la línea de costa antigua.

Figura 8 Zonas geomorfológicas del Golfo de Guayaquil



El relieve **Ic** es una zona muy somera e irregular influenciada por la descarga fluvial que sale por el canal del Morro. Se distingue fácilmente de Ib si se toma la isóbata 10 m como limite occidental, apareciendo como una zona elevada convexa e irregular con numerosas rompientes que hacen peligrosa la navegación. El significado de este relieve no es muy evidente pero daremos a continuación tres causas posibles:

- a) Depositación deltaica reciente retrabajada por las fuertes corrientes allí existentes.
- b) Continuación submarina del relieve subaéreo de la Isla Puná que no ha sufrido mayor retrabajado marino por su inundación relativamente reciente.
- c) Levantamiento tectónico activo junto a toda la Isla Puná.

Estas hipótesis no tienen aún confirmación y lo más probable es que la respuesta sea una combinación de todas ellas.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-18

El relieve **Id** aunque pareciera una continuación de **Ib**, presenta en cambio una irregularidad extrema. El control de este relieve podría ser un fallamiento intenso o un crecimiento activo de arrecifes coralinos.

La zona II (Fig. 7) marca una transición entre **Ib**, **Id** y III. Presenta una pendiente regional promedio de 7°. Su relieve general es convexo con algunas irregulares que evocan la existencia de antiguas terrazas pero que no pueden ser consideradas como tales desde el punto de vista geomorfológico.

La zona III (Fig. 7) presenta un relieve de pendiente regional muy suave y profundidad promedio de 60 m, con una serie de elevaciones y depresiones con desniveles de generalmente 5 a 10 m con respecto al relieve adyacente. Son excepciones la elevación de la isla Sta. Clara que sobresale hasta 86 msnm y una depresión situada inmediatamente al NO de la anterior que alcanza 97 m de profundidad. También se pueden distinguir dos relieves diferentes que se los llama III a y III b, cuyo límite estaría señalado en su mayor parte por la isóbata 65 m.

El relieve III-a presenta las mayores irregularidades de la zona III y que fueron señalados en el párrafo anterior. Presenta además un escalonamiento muy evidente en el que se distinguen claramente tres escalones planos. No se podría afirmar que representan tres líneas costeras antiguas, sin embargo, al presentarse claramente este carácter en la costa septentrional del Golfo cabría esperar, que por lo menos el escalón más somero, sea sin lugar a dudas una terraza que se correlaciona con la que representa la zona I-b. Sin embargo, existe una diferencia de 5m entre los bordes de ambas terrazas ya que **Ib** tiene su borde a 20 m y la que hacemos referencia lo tiene a 25 m de profundidad. Esta diferencia de altura puede explicarse por diferencias en la erosión o depositación y aún quizás por subsidencia del bloque en el que se halla dicha terraza, lo cual es muy probable ya que se encuentra en la zona subsidente del Graben de Jambelí.

El relieve III-b (Fig. 7) es el más plano de toda la plataforma con promedios pendientes similares a I-b (profundidad media de 80 m) dando la impresión de ser una terraza sumergida.

La zona IV (Fig. 7) es en cambio la que presenta la pendiente regional más fuerte con un valor de 22' 30" hasta el borde. En los cortes perpendiculares a la línea de costa se observa como parte de este relieve una entalladura que semeja un pequeño escalón que podría corresponder al borde de la antigua línea de costa antes de que comenzara la última transgresión (hace unos 20.000 años, Emery, 1.967).

8.1.6 FACIES SEDIMENTARIAS

Como resultante de la definición de las litofacies y biofacies y otras observaciones ambientales se establecen las FACIES SEDIMENTARIAS que son zonas con depósitos sedimentarios similares, cuya presencia revela ciertas características dinámicas del sitio de depósito. Las facies determinadas en el Golfo de Guayaquil incluyendo una zona del talud superior, se muestran en la Fig. 8 y en el siguiente cuadro sinóptico:

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-19

FACIES SEDIMENTARIAS	DELTAICO ESTUARINAS	Llano Deltaico
		Frente Deltaico
		Pro-Delta
		Canales de Marea
		Bahia
		Lagunar
		Barras de la Boca del Estuario
		Fangos litorales
		Sedimentos Relictos
	PLATAFORMA	Arena transgresiva Basal
		Afloramiento
		Arrecifal
		Borde de Plataforma
		Roca descubierta
TALUD	Fango de Talud Superior	

8.1.6.1 FACIES DELTAICO-ESTUARINAS

Están relacionadas principalmente con la progradación fluvial del Río Guayas y con la influencia de los agentes marinos que redistribuyen la carga sedimentaria. Su distribución areal se encuentra en la Fig. 9.

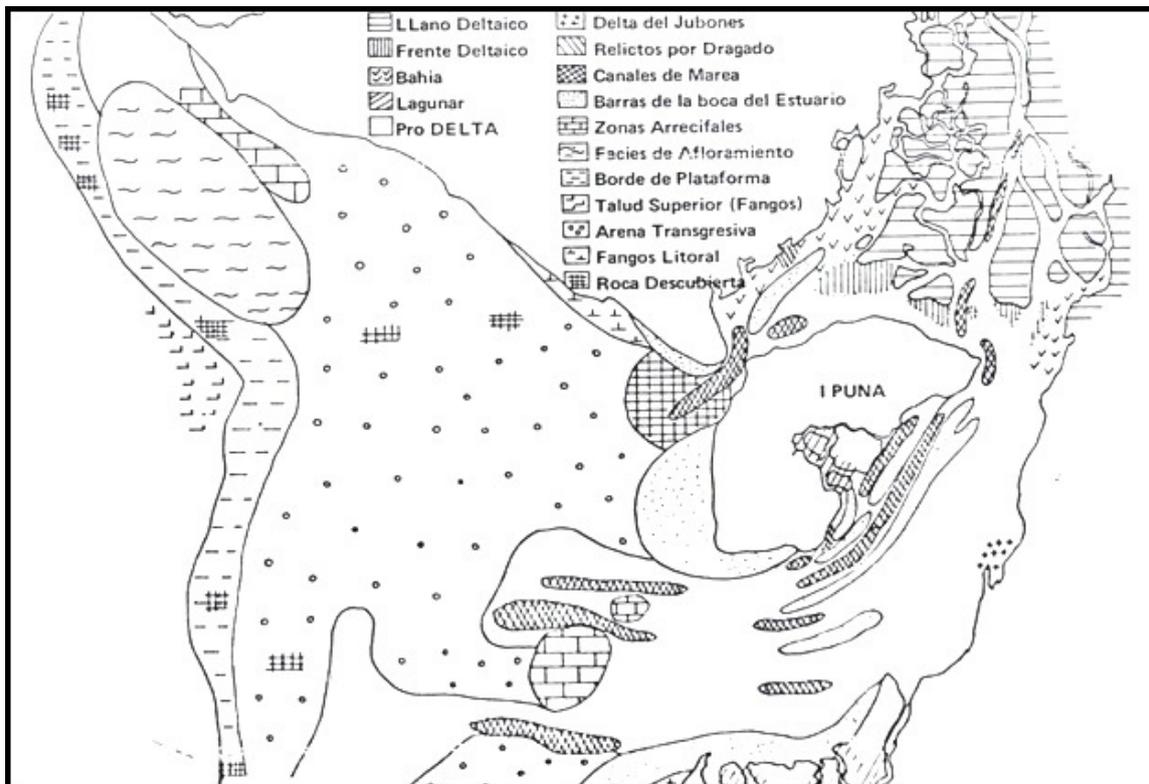
LLANO-DELTAICO: Lo constituyen el grupo de islas situadas a ambos lados del canal distributivo principal del Río Guayas y los albardones naturales del mismo. En conjunto, es una extensa planicie poblada de manglares, con áreas inundables, barreales (mudflats), canales abandonados y salitrales.

FRENTE DELTAICO: Lo constituyen los llanos de mareas situados al Sur de la Isla Escalante, Verde, Bajo Mondragón, Mondragón y Malabrigo. Están constituidos principalmente por arenas finas y limpias de origen fluvial acumuladas allí por las corrientes de marea paralelas al Canal Puná Norte. Se observaron ondulitas en la superficie.

PRO-DELTA: Es propiamente lo que R. Cruz llamó el delta subacuoso. Está constituido por los limos-arcillosos del Canal de Jambelí y Puna Norte. Se depositan formando superficies planas y corresponden a la zona de menor influencia de las corrientes de marea. En la zona de influencia de las corrientes de marea (S y E de I. Puná o boca del estuario) se mezclan con sedimentos arenosos formando mezclas de composición muy variable de arena, limo y arcilla.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-20

Figura 9 Facies sedimentarias del Golfo de Guayaquil



El depósito de los limos arcillosos alcanza varios kilómetros al O y NO de La Isla Sta. Clara donde se acomodan a las zonas deprimidas. En la zona O de Sta. Clara la depositación es menor logrando cubrir apenas, a las arenas medias de la plataforma conformando así las arenas limosas del Sur de la plataforma. En toda el área del prodelta abunda la vida bentónica, especialmente fauna de excavadores.

Componentes esqueléticos importantes observados en los sedimentos acumulados en la parte más profunda del prodelta (plataforma) son diatomeas (hasta 40% de la fracción arena en zonas de menor energía ambiental), foraminíferos (hasta 10% de la fracción arena en zonas muy productivas de plancton), espículas silíceas. Presentan en general los más altos contenidos de materia orgánica (10%) y valores variables de carbonato de calcio. Los componentes terrígenos son en general muy variables.

CANAL DE MAREA: Son verdaderas canalizaciones del agua de mar a manera de cauces fluviales cortados en el fondo del estuario. En el canal distributivo se encuentran arenas limosas y arenas; en el estuario inferior se encuentran mezclas limosas y arenas.

En los bordes N y S de la Isla Sta. Clara y el Canal del Morro es donde presentan mayor profundidad por la erosión de líneas de mayor debilidad estructural de las rocas del substrato. Por sus características morfológicas son verdaderos cañones (submarinos) que presentan las mayores pendientes de la plataforma: Canal del Morro (3° pendiente en su ladera E), Canal de Jambelí Norte (al N de la Isla Sta. Clara; 1°43' en su ladera N) y Canal de Jambelí Sur (al S de Sta. Clara; 1°40' en su ladera S). Su estrechamiento permite suponer que las velocidades de las corrientes de marea sean

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consultsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-21



mayores que en cualquier otra parte del estuario, lo que implicaría que su profundización es consecuencia de la erosión submarina.

BAHIA: Es la típica zona lateral deltaica que va quedando aislada del mar y adquiriendo poco a poco características lagunares y pantanosas. La constituye el Estero Salado con todas sus ramificaciones alrededor de las Islas del SO de Guayaquil. Esta zona presenta aguas de mayor salinidad que el Canal de Jambelí.

Los sedimentos de esta área son arcillas limosas y limos arcillosos, muy orgánicas (hasta 12 %), pobres en carbonato de calcio (2 a 3%, y por tanto de restos de foraminíferos y otras especies calcáreas) muy abundantes en restos de diatomeas y espículas (hasta el 10 % de la fracción arena). Los componentes de la fracción arena disminuyen hacia sus ramales mas interiores por el aumento de arcilla y materia orgánica. Predomina en sus orillas la vegetación de manglares.

LAGUNAR: Son zonas de bahía en un estado más cercano al relleno completo. Son el Estero Campo Alegre de la isla Puná y el Archipiélago de Jambelí; sus sedimentos son similares a los del Estero Salado.

BARRAS DE LA BOCA DEL ESTUARIO: Es una facies de transición a la plataforma. A ambos lados de los dos canales estuarinos, así como cerca de su desembocadura, se están produciendo acumulaciones de arena en forma de barras. Estos sedimentos se originan parcialmente por la descarga del Rio Guayas, por la erosión de los bordes del estuario y por acumulación de restos esqueléticos calcáreos.

FANGOS LITORALES: Es también una facies de transición. Se encuentran en el litoral cercano a Playas (al N) y en el litoral del SO del Archipiélago de Jambelí. Se presentan allí por la derivación lateral de aguas fluviales ricas en limos orgánicos que se depositan muy cerca de la línea de costa sobre los sedimentos de la plataforma determinando textura de arena limosa (al N) o de limos arenosos (al S). Son ricas en materia orgánica y presentan restos de diatomeas y espículas en abundancia.

SEDIMENTOS RELICTOS: En el Estero Salado existen algunas zonas a lo largo del canal de navegación, donde el intenso dragado ha eliminado la cubierta sedimentaria actual permitiendo que afloren sedimentos no equilibrados con el medio, consistente en arena y gravas. No tiene una gran importancia en área pero se la menciona por ser una manifestación de los muchos cambios que podrían inducir el hombre en este ecosistema, cambios que podrían llegar a ser peligrosos para la estabilidad del mismo, sino se los maneja correctamente.

8.1.6.2 FACIES DE PLATAFORMA

Son las que reciben una influencia mínima de la progradación deltaica actual y están mayormente relacionadas a fenómenos oceanográficos. Fuera de la influencia del delta subacuoso se considera plataforma a partir de la influencia más profunda del oleaje (lo cual se puede considerar que es hasta los 10 m de profundidad) hasta el quiebre de la pendiente denominado borde de plataforma que se encuentra a aproximadamente 120 m de profundidad.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-22



ARENAS TRANSGRESIVAS BASALES: El conjunto de arenas medias y finas que cubren casi toda la plataforma del Golfo de Guayaquil constituyen las huellas dejadas por la última transgresión (Holocena) que comenzó hace unos 20.000 años. Esta facies se la ha encontrado en casi todas las plataformas continentales del mundo y ha sido llamada *Arena transgresiva Basal* (Miró, 1972). También han sido llamadas *Arenas relictas* de la plataforma por encontrar que sus sedimentos y los restos esqueléticos no están relacionados con las condiciones ambientales actuales.

Así, se puede ver en la plataforma del Golfo que existe sedimentos gruesos retrabajados y mezclados cuya presencia puede explicarse solamente por la migración constante de la línea de costa a partir del borde de plataforma hacia su posición actual. Así mismo existen restos esqueléticos propios de líneas de costa distribuidos en toda la plataforma y que han sufrido abrasión y depositación de materiales autógenos (glauconita y pirita), lo cual indica que en algún momento estuvieron ligeramente sepultados y luego fueron removidos de su lugar.

A los caracteres “relictos” se superponen los que van adquiriendo paulatinamente en el nuevo medio como son la alta concentración de materia orgánica, foraminíferos y otros restos calcáreos en las zonas de mayor profundidad.

Cerca de los límites con las facies deltaicas también se superponen en zonas limitadas, los limos del prodelta.

AFLORAMIENTO DE AGUAS OCEANICAS: Es la zona del NO del Golfo. Sus sedimentos son finos (arenas finas limosas a limos) y muy orgánicos; se encuentran muchos restos esqueléticos de diatomeas y peces; también hay abundancia de minerales autógenos como la pirita y la glauconita.

AREA ARRECIFAL: Son zonas de poca depositación de terrígenos y alta concentración de organismos calcáreos (especialmente briozoarios) que crecen adheridas al fondo rocoso, dando lugar a la formación de arrecifes incipientes o en inicio de construcción. También están relacionadas con las zonas de mayor productividad planctónica. Se reducen a la Isla Sta. Clara y la zona Id.

BORDE DE PLATAFORMA: Como lo indica su nombre, constituye la zona del borde plataforma comprendida entre los 90 y los 130 m (hasta donde se ha estudiado). Se encuentran principalmente arenas limosas; es por lo tanto una transición a las facies de talud que son típicamente fangos en su parte superior.

Por ser la zona más expuesta a las corrientes del fondo marino presenta frecuentemente rocas consolidadas descubiertas.

8.1.6.3 FACIES DE TALUD

Se considera talud continental la zona marina donde el talud natural se incrementa llegando a un promedio de 3°, lo cual ocurre en promedio en el Ecuador a los 120 m de profundidad.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-23

En el talud continental abundan los sedimentos finos (recubren hasta el 60% del área total) dominando las partes cóncavas del talud superior. En esta zona se tomó una muestra que define la facies de *Fango de Talud Superior* que consiste en una arcilla limosa muy orgánica cuya fracción arenosa está constituida mayormente por restos de foraminíferos.

8.1.7 SEDIMENTOS DEL ESTERO SALADO

En la tesis de S. Benitez (1975) se encuentra un mapeo de los sedimentos de fondo del Estero Salado y áreas marinas del delta adyacente con unas 40 muestras (Fig. 10 y CUADRO 1).

En el CUADRO 1 se encuentran los porcentajes que cada muestra presenta de las fracciones de arena, limo y arcilla, así como la respectiva clasificación granulométrica de Shepard. La clasificación granulométrica de Shepard se la abrevia con la inicial de cada fracción de la siguiente manera: A= arena; L= limo; y a= arcilla.

En cada punto donde se tomó una muestra, se graficó dicha clasificación que aparece en la Fig. 11 obteniendo el mapa de sedimentos de fondo el cual se obtuvo por interpretación de los campos granulométricos en base a la batimetría.

En la Fig. 11 se aprecia que las arenas predominan en el frente deltaico en el Sur de las islas Escalante, Verde y Mondragón. También se encuentran arenas en los canales de marea y en las barras del centro del estuario cerca del canal del Morro. En la zona amplia de transición entre el frente deltaico y los llanos de marea lodosos de la orilla N de la isla Puná, a lo largo del canal Puná Norte se encuentran mezclas de arena, limos y arcillas. Y en la mayor parte del Estero Salado y de los canales predominan los limos arcillosos y arcillas limosas que forman extensos llanos de marea; aunque no se ha muestreado con suficiente intensidad para encontrar diferencias importantes de granulometría en muestras tomadas siguiendo cortes perpendiculares al Estero Salado, ya que los canales de marea que allí coexisten deben tener seguramente arenas, que no aparecen reflejadas en este estudio.

CUADRO 1.- ESTACIONES DE SEDIMENTOS DE FONDO Y SU RESPECTIVA CLASIFICACION GRANULOMETRICA (FUENTE: S. BENITEZ, 1975)

ESTAC. N°	ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	CLASIFICACION GRANULOMETRICA (Sheppard)	SIMBOLO EN EL MAPA DE LA FIG. 10
189				Arena	A
190				Arena	A
191				Arena	A



192	67,70	16,94	9,47	Arena	A
193	98,86		1,24	Arena	A
194				Arena	A
195	51,12	23,74	25,09	Arena Arcilla Limo	A-a-L
196	36,16	29,82	33,61	Arena Arcilla Limo	A-a-L
197	1,79	47,68	50,54	Arcilla Limosa	a-L
198	84,34	5,87	9,77	Arena	A
199	92,34	3,80	3,80	Arena	A
200	0,75	50,02	49,19	Limo Arcilloso	L-a
201				Arena	A
202	71,56	16,16	7,94	Arena	A
203	99,90			Arena	A
204	13,74	37,25	49,20	Arcilla Limosa	a-L
205	13,32	51,63	35,05	Limo Arcilloso	L-a
206	2,42	45,95	51,61	Arcilla Limosa	a-L
207	5,90	46,82	47,28	Limo Arcilloso	L-a
208				Grava	G
209	5,69	40,46	51,87	Arcilla Limosa	a-L
149	49,50	23,79	26,75	Arena Limo Arcilla	A-L-a
150	8,05	43,20	42,89	Arcilla Limosa	a-L
151	97,23	1,14	1,54	Arena	A
152	0,99	45,40	53,59	Limo Arcilloso	L-a
153	96,20	0,97	2,81	Arena	A
154	26,56	31,22	42,21	Arena Limo Arcilla	A-L-a
155	25,68	30,22	44,09	Arena Limo Arcilla	A-L-a
156	55,13	25,27	19,69	Arena Arcillosa	A-a
157	8,86	39,77	51,35	Limo Arcilloso	L-a
158	2,75	37,65	59,57	Limo Arcilloso	L-a
159	25,21	35,32	39,41	Arena Limo Arcilla	A-L-a
161	2,30	39,44	58,27	Limo Arcilloso	L-a
162	78,15	5,57	14,89	Arena	A
163				Arena	A

164	55,28	27,17	17,54	Arena Arcillosa	A-a
165	46,46	27,58	25,99	Arena Limo Arcilla	A-L-a
166	62,13	2,62	35,23	Arena Limosa	A-L
167				Arena	A

Figura 10 Muestras de Sedimentos del Estero Salado.



Fuente: S. Benitez (1975).

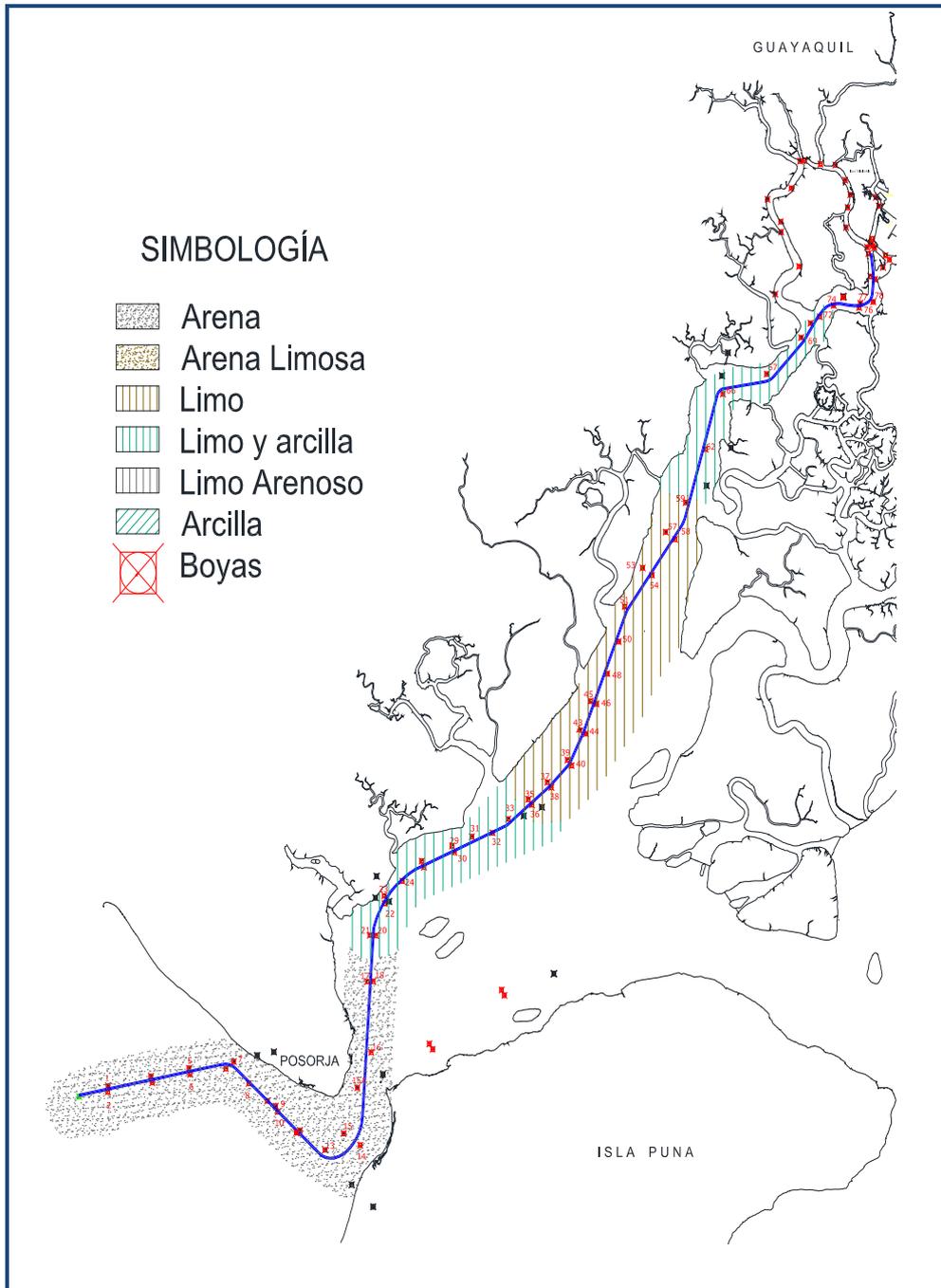
Figura 11 Textura de los sedimentos de fondo en el Estero Salado y Canal Puná Norte. La clave de los diferentes tipos granulométricos de los sedimentos se encuentra en el CUADRO 1.



Llama la atención el hecho de que en estudios posteriores de los sedimentos ejecutados por empresas ambientales en los años 1.998, 2.000 y 2.002 los sedimentos de la parte más interna del Estero Salado son casi exclusivamente del tipo "limos" y "limos arcillosos" (Fig. 12), cuando allí coexisten en la misma proporción las "arcillas limosas" cuyo comportamiento frente al dragado podría ser algo diferente. Esto se debería probablemente a la falta de métodos de disgregación del sedimento original, los que no se estarían aplicando en las rutinas granulométricas de sedimentos finos, usadas comúnmente en los laboratorios de suelos de la ciudad.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-27

Figura 12 Estudio de la granulometría de los sedimentos del Estero Salado efectuado en 1998.

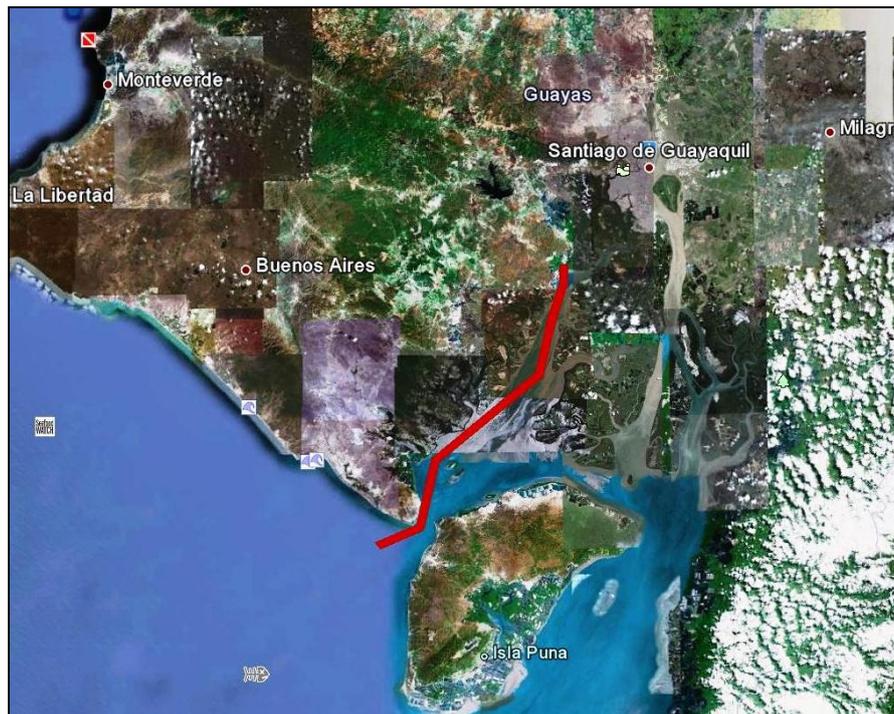


8.2 Geotecnia del Canal

El Puerto Marítimo de Guayaquil se inauguró en febrero de 1958 y el canal de acceso al mismo (figura 1) fue diseñado para recibir naves de hasta 9.5 metros de calado, que para esa época era suficiente para la actividad marítima comercial. Durante su vida útil hasta la actualidad, el canal ha sido objeto de distintos estudios y proyectos de dragado para cumplir con el requerimiento del paso de las embarcaciones.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-28

Figura 13 Sector canal de acceso Puerto Marítimo de Guayaquil



Fuente: Google Earth 2011

En la actualidad, debido al crecimiento del Comercio Marítimo Internacional los buques han aumentado sus dimensiones con la finalidad de transportar mayor carga, consecuentemente la profundidad de calado de los mismos ha aumentado.

Debido a este desarrollo los puertos del mundo realizan dragados de construcción y mantenimiento para recibir a los buques de nueva generación. Ante esta tendencia APG ha decidido realizar los estudios de prefactibilidad, factibilidad y de diseño para determinar el dragado a la profundidad de 11m.

8.3 Objetivos de la investigación

El presente estudio tiene por objetivo elaborar un marco geológico regional del Estero Salado haciendo énfasis en los fenómenos sedimentológicos que tienen lugar en dicho brazo de mar, como consecuencia de la interacción Río Guayas-Océano Pacífico.

También se tiene por objetivo presentar y analizar los resultados de la campaña de investigación del lecho superficial y sub superficial del fondo marino del proyecto “Estudios de Prefactibilidad para determinar el dragado a la profundidad de 11 m respecto al MLWS”, para conocer el tipo de sedimentos existentes en el lecho del canal, así como los materiales subyacentes a estos y plantear soluciones geotécnicas para diferentes alturas de dragado.

8.4 Alcances

Presentar la campaña de exploración del fondo y subfondo marino del canal de Acceso y analizar los resultados obtenidos en la misma para obtener información estratigráfica, mediante la cual se determinará el volumen y el tipo de materiales a ser

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-29

dragados para diferentes alturas de calado de los buques que se prevee arribarán al Puerto de Guayaquil dentro de los próximos años

La información obtenida también servirá para modelar la estabilidad actual de los taludes, y en la próxima fase hacer el análisis de taludes que se conformarán ya que para diferentes alturas de dragado se presentarán distintos anchos del canal.

8.5 Determinación del sub-fondo del canal

8.5.1 Ensayos bajo sistema vibracore y sistemas mecánicos

8.5.1.1 Sistema Vibracore

8.5.1.1.1 Ubicación de sondeos

Se realizaron un total de 16 sondeos exploratorios con el sistema Vibracorer, de los cuales 11 se efectuaron en la época fría-seca y los 5 restantes en la época húmeda-cálida.

Las coordenadas de cada sondeo se detallan en la tabla 1.

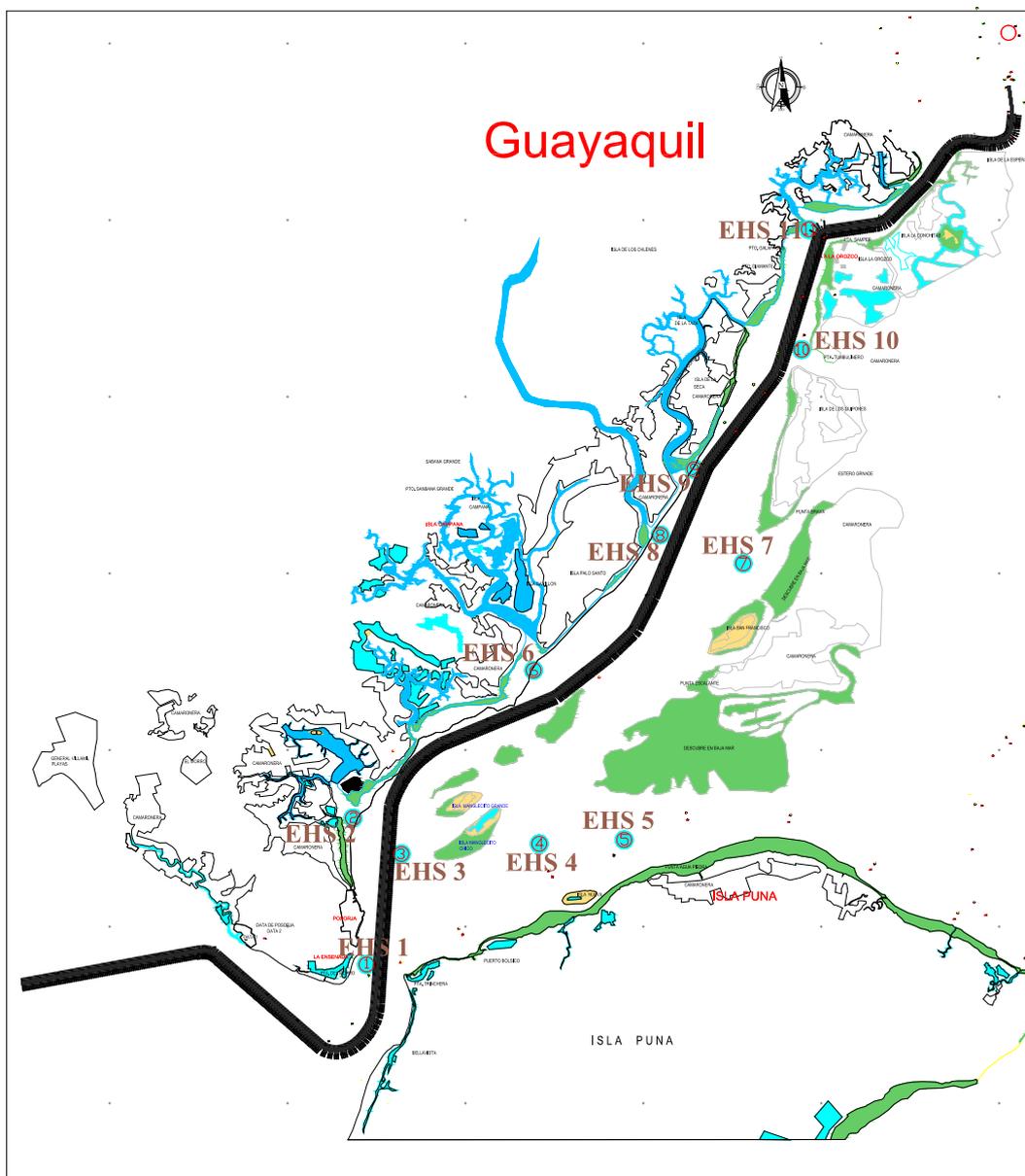
Tabla 1 Ubicación en planta de los sondeos con vibracore

Sondeo	Coordenadas de muestreo	
	Este	Sur
EHS1	584150	9697855
EHS2	583975	9706425
EHS3	586396	9704116
EHS4	594152	9704690
EHS5	598920	9704911
EHS6	593832	9714508
EHS7	605616	9720568
EHS8	600948	9722184
EHS9	602870	9725890
EHS10	608900	9732663
EHS11	609309	9739478
ES12	597464	9715981
ES13	598616	9714713
ES14	600431	9720722
ES15	602471	9718030
ES16	623517	9747216

Aquellos sondeos que se realizaron al inicio fueron efectuados en cada una de las Estaciones Hidro-Sedimentológicas (EHS) ubicados según el plano de la figura 2.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-30

Figura 14 Ubicación en planta de los sondeos realizados en la primera campaña exploratoria (fría – seca)



Para determinar el tipo de sedimentos que se encuentran en la zona crítica del canal que es entre las boyas 15A y 53 se decidió ubicar cuatro sondeos en esta zona según lo detalla la figura 3.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-31

Figura 16 Sector Puerto Marítimo de Guayaquil (Estero Cobina)



8.5.1.1.2 Equipos empleados

8.5.1.1.2.1 Embarcación

Para esta campaña se decidió utilizar una embarcación más grande a la utilizada para la Geofísica por la necesidad de espacio para equipos de buceo y tubería para el muestreo.



Embarcación Angélica María

8.5.1.1.2.2 Embarcación de apoyo

Con motor fuera de borda 40 HP para movilización de buzos el momento de realizar las inmersiones.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-33

8.5.1.1.2.3 Puntas tipo VIBROCORE

Para las perforaciones se construyeron 2 puntas las cuales se comportaran como las puntas de los VIBROCORE, la diferencia es que el peso que realiza la perforación está conectado a un equipo neumático que controla el buzo desde la parte superior del mismo.

8.5.1.1.2.4 Compresor

Se utilizó un compresor HOOKUP para abastecer de aire a personal de buceo y para equipo neumático

8.5.1.1.2.5 Tubería de PVC

Empleadas como contenedores de muestras. Las mismas se introducían en las puntas. Cada tubería se identificaba con código del sondeo y la dirección en que se obtuvo la muestra

8.5.1.1.2.6 Tulipas

Tulipas (válvula de pétalos) Evita que la muestra se chorree el momento de sacarla a la superficie. Este dispositivo permite obtener muestras con un mayor grado de recuperación.

8.5.1.1.2.7 Placas

Placa superior para poder sacar el contendor de PVC si averiar la puntas

8.5.1.1.2.8 Tapas de identificación

Tapas rojas y negras para identificar la para superior y la inferior.

8.5.1.1.2.9 Herramientas menores

Herramienta para armar y desarmar las puntas, equipos y motores de combustión.

8.5.1.1.2.10 GPS

Este equipo se lo utiliza para ubicar un punto geográficamente por medio de coordenadas, que en este caso son reportadas en coordenadas UTM.

8.5.1.1.2.11 Radios

Para comunicación con oficinas en Guayaquil, en caso de presentarse algún inconveniente y para informar del avance de los trabajos

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-34

8.5.1.1.2.12 Cámara Fotográfica

Este equipo fue empleado para registrar gráficamente los puntos de muestreos, y las situaciones especiales del mismo.

8.5.1.1.2.13 Otros

Cabos, cadenas y ancla extra para anclar la embarcación y evitar garreo el momento de fondear equipo.

8.5.1.1.3 Procedimiento en Campo

Una vez dentro de la embarcación se localizan las coordenadas de cada sondeo con el GPS para realizar la toma de muestras, luego se procede al armado de puntas para el muestreo. Este proceso de armado se lo realizo para cada una de las muestras donde la superficie ofrecía resistencia para tomar las muestras lo cual se dio en las primeras 5 estaciones.

En las siguientes estaciones el testigo ingresaba fácilmente, pero el momento de sacar la muestra, el tubo se chupaba por lo cual se utilizaron flotadores y se tuvo que halar desde el bote para poder sacar la muestra.

El procedimiento de armado de puntas se muestra gráficamente a continuación:

	
<p>Tulipa y placa de extracción</p>	<p>Accesorios</p>
	
<p>Colocación de accesorios en tubería de PVC</p>	<p>Inserción de tubería de PVC en punta de acero</p>



8.5.1.1.4 Muestreo en la primera campaña (fría-seca)

Esta campaña se llevo a cabo entre el 24 y el 30 de Noviembre del 2011. Las siglas para identificar cada uno de estos sondeos fue EHS (Estación Hidro-Sedimentológica) ya que todos estos vibracore fueron tomados en puntos en los cuales también se midieron parámetros hidrológicos.

En la EHS1 se encontraron rocas apiladas una sobre otra, se tomaron muestras y para descartar que sea una formación puntual se movió la embarcación pero este tipo de material estaba en todo el sector.



Se trató de buscar un sector donde poder clavar la punta del vibrocore, pero no hubo éxito ya que donde se encontró arena después de 15 cm se volvió a encontrar rocas del mismo tipo.

En este sector se perdió el ancla ya que se enganchó en una roca y se safó el cabo del winche.

En la EHS 2 se extrajo la muestra en un sector arenoso y la muestra salió completa a diferencia de la EHS3 donde el tamaño del testigo una vez que filtra el agua es de 54 cm, esta muestra se la tomó así ya que la tulipa no cerró, se trabo con el material de la muestra. Los sondeos en las estaciones restantes no tuvieron problemas de extracción y el tipo de materiales predominantes fue de tipo limoso.

8.5.1.1.5 Muestreo en la segunda campaña (cálida-húmeda)

Esta campaña se llevo a cabo entre el 19 y el 23 de Enero del 2012. Estos vibracore fueron tomados en la zona del bajo migrante, que es una zona que continuamente se somete a dragados de mantenimiento.

Las siglas para identificar cada uno de estos sondeos fue ES.



Se extrajo una muestra a la altura del estero Cobina para identificar el tipo de sedimentos en la zona del Puerto Marítimo.



No se presentaron problemas con las extracciones de las muestras en esta campaña.

8.5.1.1.6 Condiciones de marea

En las costas ecuatorianas se presentan mareas de tipo semidiurna. Esta se caracteriza por presentar dos pleamares y dos bajamares en algo más de 24 horas con pequeñas desigualdades diurnas, como se muestra en la figura 10 para cada una de las zonas antes mencionadas.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-37

Se obtuvieron la altura de mareas de la tabla de mareas del INOCAR para cada una de las muestras seleccionadas para este estudio, como se puede apreciar en la tabla, en donde se incluyen las coordenadas, fecha, hora, elevación batimétrica y altura de marea para cada sondeo.

Tabla 2 Resumen de sondeos de exploracion de la campaña (Draga Manual)

Sondeo	Fecha	Hora	Coordenadas de muestreo		Elevación Batimétrica a MLWS	Altura de marea
			Este	Sur		
EHS1	23/11/2011	3:20:00 PM	584150	9697855		
EHS2	24/11/2011	10:00:00 AM	583975	9706425	3.5	2.60
EHS3	25/11/2011	10:30:00 AM	586396	9704116	13.5	0.20
EHS4	26/11/2011	11:40:00 AM	594152	9704690	10.5	0.10
EHS5	26/11/2011	5:30:00 PM	598920	9704911	9.4	0.20
EHS6	27/11/2011	8:00:00 AM	593832	9714508	6.9	1.10
EHS7	27/11/2011	12:40:00 PM	605616	9720568	3.9	1.70
EHS8	28/11/2011	8:10:00 AM	600948	9722184	7.9	0.20
EHS9	28/11/2011	2:00:00 PM	602870	9725890	7.2	0.50
EHS10	29/11/2011	2:30:00 PM	608900	9732663	4.2	0.40
EHS11	30/11/2011	9:00:00 AM	609309	9739478	3.5	1.80
ES12	1/22/2012	5:30:00 PM	597464	9715981	1.55	2.60
ES13	1/22/2012	5:00:00 PM	598616	9714713	15.35	2.65
ES14	1/22/2012	10:00:00 AM	600431	9720722	9.75	0.25
ES15	1/23/2012	11:30:00 AM	602471	9718030	7.11	0.09
ES16	1/19/2012	9:57:00 AM	623517	9747216	7.45	0.75

	Zona Posorja
	Zona Puerto Nuevo

Nota: Los datos de las alturas de marea fueron estimadas del documento "Tablas de Marea, INOCAR".

8.5.1.1.7 Método de Muestreo en Laboratorio

Una vez obtenidos los tubos que contienen las muestras, son llevados al laboratorio, aquí se receipta, se verifica que contenga la información de ubicación, fecha y hora de toma y además se constata que se cumpla los requisitos mínimos de los cuales depende la calidad de los resultados.

Se verifica si el recipiente es adecuado para contener la muestra de acuerdo al tipo de ensayo a realizar, si el volumen de la muestra es suficiente, para la realización de las pruebas, se verifica si a la muestra se le han realizado procedimientos de preservación previos de acuerdo a lo reportado por el muestreador.

Las muestras correspondientes a los 16 vibrocore fueron entregadas al laboratorio con la finalidad ser examinadas y analizadas, para de esta manera clasificarlas y determinar el tipo de sedimentos a lo largo del canal. Se ejecutaron 66 ensayos de contenido de humedad, 66 granulometrías (análisis con tamices) y 29 Límites de Atterberg y 7 Análisis hidrométricos. Los ensayos fueron realizados basados en las normas ASTM con los siguientes procedimientos:

- ✓ D1140-00(2006) Standard Test Methods for Amount of Material in Soils Finer than No. 200 (75- μ m) Sieve.
- ✓ D4318-05 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- ✓ D2487-06 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).
- ✓ D420-98(2003) Standard Guide to Site Characterization for Engineering, Design, and Construction Purposes.
- ✓ D5434-03 Standard Guide for Field Logging of Subsurface Explorations of Soil and Rock.
- ✓ D422-63(1998) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils

A continuación se muestra el proceso de muestreo y ensayos que se llevó a cabo en el laboratorio. Los registros de cada una de las muestras se encuentran reportados en el anexo A. En el anexo B, se incluyen los reportes los ensayos de granulometría, hidrómetro y límites de atterberg de las muestras.



Corte de tubo PVC de la Estación sedimentológica

Muestreo a diferentes alturas

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-39



8.5.1.1.8 Resultados

Los resultados de los análisis de laboratorio se detallan en el anexo A.

8.5.1.2 Perforaciones

8.5.1.2.1 Ubicación de sondeos

Se realizaron 5 perforaciones profundas para modelar tanto las condiciones actuales del canal, así como la estabilidad de los futuros taludes que se conformarían de acuerdo a las opciones de dragado que se manejan. La tabla 3 muestra la ubicación de las cinco perforaciones realizadas.

Tabla 3. Coordenadas de las perforaciones realizadas

Sondeo	Coordenadas de muestreo	
	Este	Sur
EG1	601350	9723640
EG2	603336	9727011
EG3	609883	9732336
EG4	618609	9744272
EG5	620415	9745145

Los sondeos 1, y 2 se efectuaron en la zona de Posorja, y los sondeos 3, 4 y 5 se ubicaron en la zona de Puerto Nuevo. Las figuras 5 y 6 muestran gráficamente la posición de estas perforaciones en el canal de acceso.

Figura 17 Grafico de Mareas del Canal de Acceso (20 y 21 de Enero del 2012)

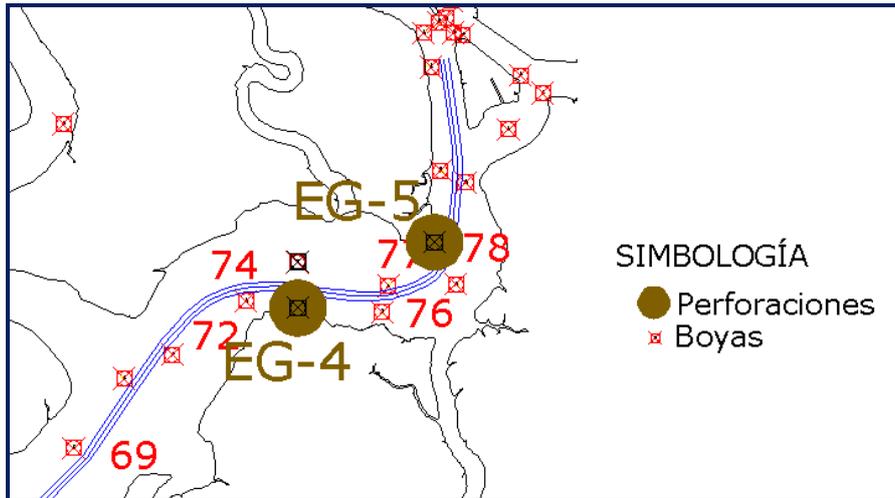
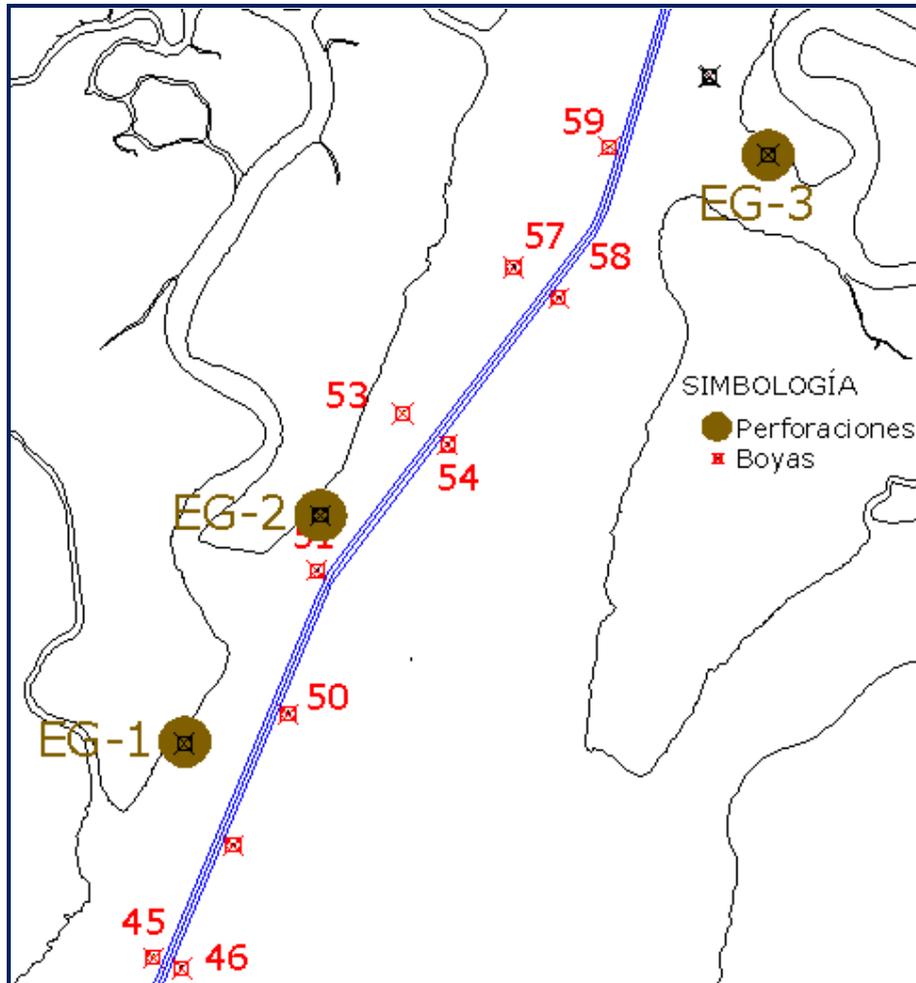


Figura 18. Grafico de Mareas del Canal de Acceso (20 y 21 de Enero del 2012)



8.5.1.2.2 Equipos empleados

8.5.1.2.2.1 G.P.S.

El G.P.S. (Global Positioning System) Este equipo se lo utiliza para ubicar un punto geográficamente por medio de coordenadas, que en este caso son reportadas en coordenadas UTM (Universal Transversa Mercator).

8.5.1.2.2.2 Cámara Fotográfica

Este equipo fue empleado para registrar gráficamente los puntos de muestreos, y las situaciones especiales del mismo.

8.5.1.2.2.3 Equipo de Protección Personal

Para la recolección de muestras en el canal de acceso se emplearon principalmente como equipos de protección personal (EPP) chalecos salvavidas reflectivos y botas punta de acero, debido a que esta actividad se la va a desarrollar en un cuerpo de agua.



8.5.1.2.3 Procedimiento en Campo

La ubicación de los sondeos de exploración fue realizada preliminarmente en base a la ubicación del proyecto en la aplicación Google Earth, posteriormente, se realizó la ubicación en campo utilizando el equipo de medición GPS.

Se realizaron 5 sondeos exploratorios los mismos que alcanzaron la profundidad promedio de 18.00 m, dichos sondeos iniciaron el 17 de Enero y finalizaron el 25 de Enero del 2012, utilizando un equipo de perforación tipo lavado percusión, con máquina tipo Petty, los sondeos se realizaron sobre el agua con la ayuda de una plataforma flotante, se encamisó con tubería de revestimiento de 4 pulgadas los primeros 2.0 a 4.0 metros para evitar el cierre de la perforación por derrumbes de los estratos superficiales, adicionalmente se consideró el nivel al que se encuentre la marea, las muestras fueron obtenidas usando los siguientes muestreadores:

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-42

- Cuchara partida, para el ensayo de penetración estándar (SPT), de 2 pulgadas de diámetro exterior DE, y 1.375 pulgadas de diámetro interior DI, para las pruebas de penetración estándar (SPT), se utilizó martillos tipo Safety (63.5 kg, 0.76m altura de caída y varillas AW). Los valores de N60 reportados ya consideran la afectación por la energía transmitida por el martillo.
- Tubo de pared delgada tipo Shelby de 75 mm (3 pulgadas) de diámetro y 1.6 mm de espesor.

El lavado se lo realizó manteniendo las paredes de las perforaciones con lodo bentonítico. Las muestras obtenidas del ensayo SPT y con la obtención de muestras inalteradas con tubos shelby, fueron tomadas a diferentes profundidades para cada sondeo. Durante la ejecución de los sondeos y operaciones de muestreo, el personal de campo mantenía un registro de las actividades realizadas in situ; anotando la descripción visual del suelo para las muestras.

Se tiene por finalizada la perforación cuando se da el primero de los siguientes tres casos: 50 golpes en los primeros 15 cm, 100 golpes en los últimos 30 cm entendiéndose esto como rechazo, o alcanzando la profundidad estimada para los sondeos. El número de golpes fue registrado en cada tramo de los sondeos ejecutados.

Previo a los trabajos mencionados, el mismo martillo de seguridad fue calibrado, mediante un sistema de varillas instrumentadas, (Vera Grunauer, X et al. 2006). El sistema incluyó dos acelerómetros piezo-resistentes, diametralmente opuestos, sobre un bloque de acero soldados a la barra y dos medidores de deformación (Strain Gages) los cuales consistían en un puente tipo Wheastone de 350 Ohm pegado a una barra de 60 cm de longitud tipo AWJ; estos instrumentos fueron conectados a un Analizador de señales -SPT Analyzer™ (Pile Dynamics Inc.2000)- el cual es similar al analizador de pilotes -Pile Driving Analyzer (PDA)-, adaptado para medir la energía en pruebas SPT.



Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-43

Los resultados obtenidos con el martillo de seguridad calibrado tuvieron una eficiencia de energía ER de 61% a 63% y una eficiencia de martillo CE ($CE=ER/60$) de 1.02 a 1.04.

Las muestras de cada sondeo fueron obtenidas para caracterizar las condiciones del subsuelo y consecuentemente realizar los ensayos de laboratorio. Luego de retirar el muestreador del sondeo, las muestras fueron observadas, registradas y etiquetadas; las muestras del SPT fueron recogidas y herméticamente selladas en frascos, luego recubiertas con fundas plásticas, para su posterior análisis en el laboratorio; a su vez, las muestras obtenidas de los tubos shelby fueron selladas con parafina para evitar la pérdida de humedad natural de las muestras.

Se realizó una clasificación visual preliminar de suelos en el campo, de acuerdo con la norma ASTM D 2487 (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos). La clasificación de las muestras de suelo fue verificada por una inspección posterior en el laboratorio de cada muestra y por los resultados de los ensayos. Se presenta una hoja explicativa para cada sondeo y los registros finales de perforación, desarrollados a partir de los resultados de laboratorio.

8.5.1.2.4 Condiciones de marea

La toma de muestras se ejecutó desde el día 17 de Enero del 2012 hasta el día 25 de Enero del 2012. Durante este ciclo, el rango de la marea para el día de muestreo fue de 0.5 a 2.5 m en Posorja, 0.5 a 2.3 en Data Posorja y de 0.3 a 4 m en Puerto Nuevo, considerado el nivel de referencia MLWS o nivel medio de bajamares de Sicigias.

En las costas ecuatorianas se presentan mareas de tipo semidiurna. Esta se caracteriza por presentar dos pleamares y dos bajamares en algo más de 24 horas con pequeñas desigualdades diurnas. En la tabla 4 se muestra la coordenada y elevación batimétrica de cada uno de los puntos de perforación.

Tabla 4. Resumen de sondeos de exploración de la campaña (Draga Manual)

Sondeo	Fecha inicio	Fecha fin	Coordenadas de muestreo		Elevación Batimétrica MLWS
			Este	Sur	
EG1	24/01/2012	24/01/2012	601350	9723640	5.8
EG2	25/01/2012	25/01/2012	603336	9727011	2.4
EG3	21/01/2012	22/01/2012	609883	9732336	3.2
EG4	18/01/2012	19/01/2012	618609	9744272	1.8
EG5	17/01/2012	18/01/2012	620415	9745145	3.1

	Zona Posorja
	Zona Puerto nuevo

Nota: Los datos de las alturas de marea fueron estimadas del documento "Tablas de Marea, INOCAR".

8.5.1.2.5 Método de Muestreo en Laboratorio

Una vez obtenida la muestra es llevada a laboratorio, aquí se receipta, se verifica que contenga la información de ubicación, fecha y hora de toma y además se constata que se cumpla los requisitos mínimos de los cuales depende la calidad de los resultados. Se verifica si el recipiente es adecuado para contener la muestra de acuerdo al tipo de ensayo a realizar, se verifica si a la muestra se le han realizado procedimientos de preservación previos de acuerdo a lo reportado por el muestreador.

Las muestras correspondientes a las 5 perforaciones, fueron examinadas y analizadas en el laboratorio, para de esta manera clasificarlas y determinar las características de los sedimentos a lo largo del canal. Se ejecutaron 66 ensayos de contenido de humedad, 66 granulometrías (análisis con tamices) y 38 Límites de Atterberg. Los ensayos fueron realizados basados en las normas ASTM con los siguientes procedimientos:

- ✓ D1140-00(2006) Standard Test Methods for Amount of Material in Soils Finer than No. 200 (75-m) Sieve.
- ✓ D4318-05 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- ✓ D2487-06 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).
- ✓ D420-98(2003) Standard Guide to Site Characterization for Engineering, Design, and Construction Purposes.
- ✓ D5434-03 Standard Guide for Field Logging of Subsurface Explorations of Soil and Rock.
- ✓ D422-63(1998) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils

Los registros de cada una de las muestras se encuentran reportados en el anexo A. En el anexo B, se incluyen los reportes los ensayos de granulometría, hidrómetro y límites de atterberg de las muestras.

8.5.1.2.6 Resultados

Los resultados de los análisis de laboratorio se detallan en el anexo A.

8.5.2 Ensayos Geofísicos

8.5.2.1 REMI

REMI es un método sísmico de análisis de microtemores que se basa en el análisis de inversión de la curva de dispersión de las ondas Rayleigh para un sitio determinado, obtenida a partir de registros de ruido ambiental o microtemores. Dichos registros son

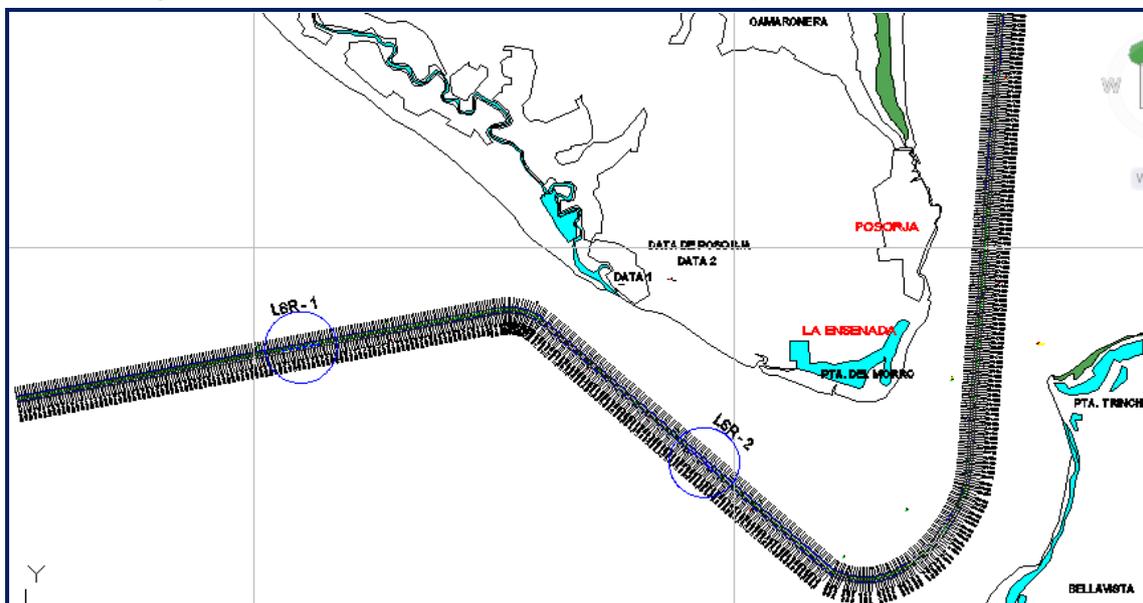
Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-45

grabados en campo utilizando un equipo estándar de refracción sísmica y el producto final del método es un perfil unidimensional de las velocidades de onda cortante para el área en estudio. Sin embargo, se puede combinar varios tendidos para la generación de perfiles 2D que muestren también las variaciones laterales de dichas velocidades.

8.5.2.1.1 Ubicación de sondeos

Los trabajos se realizaron en la zona de Data Posorja, aquí se ubicaron las dos líneas de sísmica de refracción (LSR) cada una de una longitud de 800 m. La figura 7 ilustra de manera general la ubicación de dichas líneas. La LSR1 se efectuó entre las boyas 3 y 5, y la LSR2 entre 10 y 12, tanto la primera como la segunda línea fueron efectuadas sobre el eje del canal. Un esquema de lo antes nombrado se detalla en las figuras 8 y 9.

Figura 19. Grafico de Mareas del Canal de Acceso (20 y 21 de Enero del 2012)



Las coordenadas de inicio y fin de cada línea sísmica se muestran en la tabla 5.

Tabla 5 Grafico de Mareas del Canal de Acceso (20 y 21 de Enero del 2012)

Líneas Sísmicas de Refracción					
Nº	Inicio		Final		Long. (mts)
	Este	Norte	Este	Norte	
LSR 1	570570.08	9697818.41	571356.58	9697964.76	800.00
LSR 2	579059.90	9695759.80	579661.90	9695232.94	800.00

Para poder elaborar un perfil en 2D se evaluaron puntos cercanamente espaciados (cada 20 metros) es decir en cada línea de sísmica de refracción se realizaron 40 mediciones. Un detalle de los tramos analizados en cada línea sísmica se muestra en las figuras 8 y 9.

Figura 20. Grafico de Mareas del Canal de Acceso (20 y 21 de Enero del 2012)

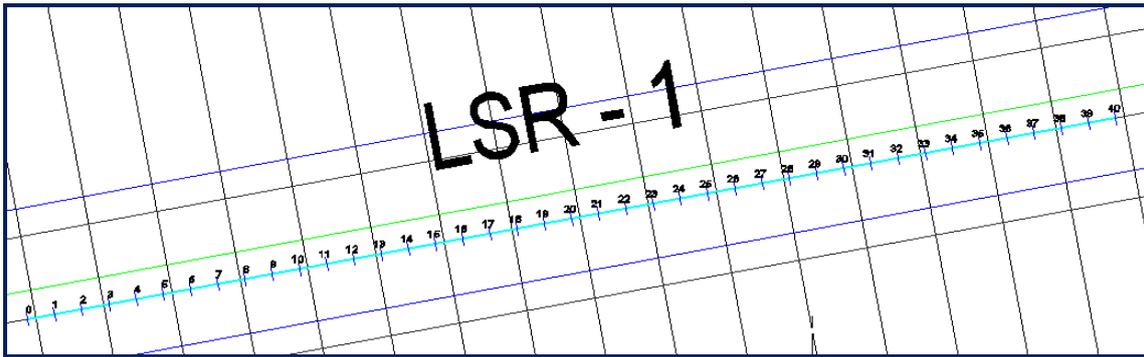
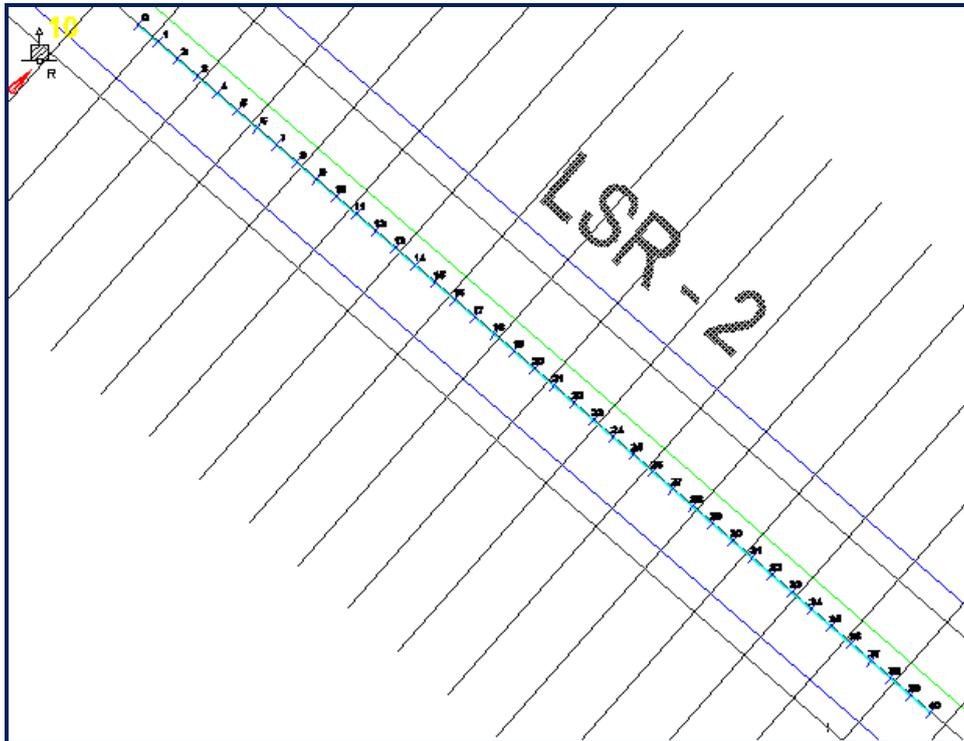


Figura 21. Grafico de Mareas del Canal de Acceso (20 y 21 de Enero del 2012)



8.5.2.1.2 Equipos empleados

8.5.2.1.2.1 G.P.S.

El G.P.S. (Global Positioning System) Este equipo se lo utiliza para ubicar un punto geográficamente por medio de coordenadas, que en este caso son reportadas en coordenadas UTM (Universal Transversa Mercator).

8.5.2.1.2.2 Cámara Fotográfica

Este equipo fue empleado para registrar gráficamente los puntos de ensayo, y las situaciones especiales que se puedan presentar en el campo.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-47

8.5.2.1.2.3 Dispositivo de explosión

Se dispuso de un tanque de aire comprimido el mismo que sirvió para inflar los tubos de bicicleta que eran sumergidos en el agua, esta explosión producía ondas las mismas que luego de ser refractadas por los estratos de suelo eran receptadas por los hidrófonos.



Implementos para producir ondas acústicas

8.5.2.1.2.4 Hidrófonos.

Son dispositivos capaces de recibir las ondas acústicas en un medio acuático, independientemente si la fuente que provoca las mismas es activa o pasiva. Para la realización del trabajo se emplearon hidrófonos de 1.0 Hz los cuales detectan las ondas de mayor frecuencia (Rayleigh).



Hidrófonos

8.5.2.1.2.5 Sismógrafo

Es el equipo encargado de recibir la información proveniente de los hidrófonos. Se encarga de almacenar los datos para luego mediante el análisis, depuración e interpretación de los mismos obtener perfiles estratigráficos.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-48



Sismógrafo

8.5.2.1.2.6 Equipo de Protección Personal

Se emplearon como equipos de protección personal (EPP) chalecos salvavidas reflectivos y botas punta de acero, debido a que esta actividad se la va a desarrollar en un cuerpo de agua.



Equipo de Protección Personal

8.5.2.1.3 Procedimiento en Campo

Previo a la realización del trabajo se seleccionaron los puntos, los cuales fueron georeferenciados. Ya en campo se localizaron los mismos con el GPS.

En dos embarcaciones debidamente equipadas y adecuadas para la realización de esta actividad y con los equipos anteriormente descritos se procedió a realizar las líneas sísmicas. Entre los botes se hizo el tendido de un cabo para mantener el alineamiento sobre el eje del canal, con el fin de tener el cabo en la superficie se ubicaron boyas, las mismas que a su vez servían para mantener los 12 hidrófonos tendidos a una profundidad de 5 m, estos hidrófonos estaban ubicados cada 5 m.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-49

Una vez que el bote con los equipos de monitoreo se colocaba sobre la coordenada se procedía a provocar las ondas de corte mediante la explosión dentro del agua de tubos de bicicleta, estas ondas eran receptadas por los hidrófonos. Se registraron 20 microtemores en cada uno de los 40 puntos ubicado en una línea sísmica, con ello se consigue elaborar de un perfil 1D.

Para la obtención final del perfil 2D se superponen los perfiles 1D obtenidos en cada punto, como resultado se obtiene un perfil estratigráfico.

<p>Equipo de sísmica de refracción</p>	<p>Tendido de hidrófonos por medio de boyas</p>
<p>Botes realizando sísmica de refracción</p>	<p>Generación de ondas por medio de explosiones de tubos de bicicleta</p>
<p>Extracción del tubo de bicicleta roto</p>	<p>Movimiento del equipo de trabajo debido al paso de un buque</p>

	
<p align="center">Paso de buques por el canal</p>	<p align="center">Explicación de la metodología a la Fiscalización</p>

En ciertas ocasiones el paso de los buques por el canal impidió las labores del equipo técnico por lo que fue necesario volver a realizar las mediciones con la finalidad de obtener información fidedigna del material ubicado en el fondo y sub-fondo del canal.

El rendimiento del equipo de sísmica fue de aproximadamente 15 mediciones diarias, con ello se consiguió terminar las labores en 6 días.

8.5.2.1.4 Condiciones de marea

La toma de muestras se ejecutó desde el día 27 de Enero del 2012 hasta el día 01 de Febrero del 2012. Durante este ciclo, el rango de la marea para el día de muestreo fue de 0.5 a 2.5 m en Data Posorja, considerado el nivel de referencia MLWS o nivel medio de bajamares de Sicigias.

En las costas ecuatorianas se presentan mareas de tipo semidiurna. Esta se caracteriza por presentar dos pleamares y dos bajamares en algo más de 24 horas con pequeñas desigualdades diurnas, como se muestra en la figura 10 para cada una de las zonas antes mencionadas.

8.5.2.1.5 Interpretación de Resultados

La interpretación se realizó empleando el paquete SEISIMAGER-SW el cual se compone de varios programas de computador para aplicaciones específicas dentro del proceso de interpretación (Oyo Geophysics, 2005, actualización octubre 2009, última disponible) junto con los demás paquetes mencionados, básicamente SEISMIC PRO y SURFSEIS.

El procedimiento básico se explica a continuación y se ilustra en la figura 10:

a) El primer paso es la adquisición de datos seguida de la verificación de la calidad y compatibilidad de los mismos (Uso del programa SIPQC).

b) A continuación se emplea el software SeisImager-SW combinado con Seismic-Pro de acuerdo con el tipo de ensayo realizado. Para la Refracción se emplean los

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-51

programas PickWin y PloRefra y para los ensayos de ondas superficiales los programas PickWin y Wave Eq.

En ambos casos, por caminos diferentes, se crean modelos de velocidades compresionales o de corte que dan origen al proceso de inversión el cual llega a soluciones que se comparan con los datos de campo en forma iterativa y reiterativa hasta encontrar un buen ajuste entre el modelo teórico y los datos de campo.

Ese buen ajuste se obtiene mediante el parámetro llamado RMS o “Root Mean Square”. El criterio general es que el RMS debe ser inferior a 1.5 para la Refracción e inferior al 10% para los ensayos de ondas superficiales (ReMi-MASW).

Una vez alcanzado el RMS correcto se entiende que se ha llegado a una solución matemática correcta la cual debe ser correlacionada con la geología local para identificar qué velocidades corresponden a qué materiales.

c) Finalmente se procede al cálculo de módulos elásticos, aunque esta etapa puede hacerse antes de la correlación.



Figura 22. Proceso interpretativo de los ensayos sísmicos realizados

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-52

Según los perfiles 1D de las velocidades de onda cortante registradas por el sísmógrafo cada 20 m y luego de analizar los resultados obtenidos se ha elaborado un perfil estratigráfico (2D) identificando diferentes los tipos de materiales, así tenemos:

TIPO DE MATERIAL	RANGO DE VELOCIDADES
Arena	$V_s < 300$ m/s
Roca Meteorizada	300 m/s $< V_s < 450$ m/s
Roca Blanda	450 m/s $< V_s < 600$ m/s
Roca Media	$V_s > 600$ m/s

Tabla 6 Tipo de geomaterial según la velocidad de onda cortante (V_s)

De acuerdo al “Estudio de Ingeniería para el Dragado y Plan de Manejo Ambiental del área de los Goles En El Canal de Acceso al Puerto Marítimo” (GOLES 2010) el cual caracterizó los geomateriales presentes en la cercanía de la LSR2, podemos establecer que los materiales encontrados en esta línea sísmica tendrán similitud a los detallados en el sector de Goles, el estudio en mención afirma lo siguiente:

Las arenas están constituidas por arenas limosas y arcillosas.

La Roca Meteorizada detectada en el sondeo GEO2, (perforación más cercana a la LSR2) se describe como Arenisca color amarillo oscuro localmente gris, grano fino, masiva, ligeramente laminada, muy meteorizada, micácea. El peso volumétrico de la misma varía de 19.7 a 20.8 KN/m³ (1.97 a 2.08 g/cm³), y la resistencia a la compresión simple, UCS de 6 a 7.0 MPa. Este estudio (GOLES 2010) recomienda considerar un valor de UCS de 5 a 10 MPa en este geomaterial, considerando una alta meteorización, con un módulo de deformación, E de 2 a 5GPa y RQD de 0 a 25%.

La Roca Blanda está conformada por Areniscas, Lutitas y Arcillolitas, con valores de RDQ de 25 a 75%. La resistencia a la compresión simple promedio es 15MPa y los pesos volumétricos de 21.6 KN/m³.

Las velocidades de ondas de corte para la Roca Media son mayores a 600 m/s se recomienda considerar valores de resistencia a la compresión UCS de 60 a 70 MPa, que corresponden a areniscas y arcillolitas con cementación. Los valores mayores a 60 MPa obedecen a la alta concentración de cementación de origen calcáreo.

8.5.2.1.6 Resumen de Resultados

En el anexo C se encuentran los planos que contienen los perfiles de las velocidades de onda cortante medidos, y el producto de la interpretación de los mismos, es decir el perfil estratigráfico 2D para cada una de las líneas sísmicas.

Para la línea sísmica 1 (LSR1) se encontró un estrato arenoso de alrededor de 2 m, este se desarrolla en la parte central de esta línea sísmica, sin embargo predomina la presencia de una roca meteorizada hasta una profundidad de promedio de 10 m la misma que contiene en su interior roca blanda y roca media.

Luego se encuentra un estrato arenoso de 8 m de espesor promedio y sobre una roca blanda con espesor promedio de 2 m esto para los 20 m de profundidad de exploración en esta línea sísmica.

La descripción anterior tiene concordancia con la determinación de un posible Paleocauce descrita en el capítulo 5 (Estudios Geofísicos del Fondo Marino del Canal de Acceso).

En la línea sísmica 2 (LSR2) se encontró un estrato arenoso de no más de 2.5 m, pero esto tan solo en 140 de los 800 m que comprende esta línea sísmica. Sin embargo predomina la presencia de roca con características desde meteorizada hasta media en espesores variables desde 2 hasta los 25 m de profundidad explorados en esta segunda línea sísmica

Además se encuentran lentes de arena de espesores entre 2 y 15 m a lo largo de esta línea sísmica, estos están ubicados a una profundidad promedio de 8 m medidos desde el fondo del canal.

8.6 Determinación de los tipos de fondo a diferentes profundidades de dragado.

En el Anexo se encuentran los planos con los tipos de fondo para las diferentes alternativas de dragado, es decir 9.75, 10, 10.5 y 11 m. El ancho del canal que se analizó va de acuerdo a la cota de dragado, estos valores fueron los siguientes:

Tabla 7 Anchos del Canal de acceso previstos de acuerdo a la profundidad de dragado

<i>Profundidad de dragado (m)</i>	<i>Ancho del Canal (m)</i>
9.75	60
10	70
10.5	80
11	100

Para la profundidad de 9.75 m el fondo que se encuentra es el sedimento superficial, el cual, es de tipo arenoso hasta la altura de la boya 44 y luego se encuentran sedimentos con diámetros de partícula inferior a los antes nombrados, predominantemente limos.

El análisis para una profundidad de 10 m de dragado muestra un afloramiento rocoso entre las boyas 7 y 10 (sector Goles) y otro entre las boyas 10 y 12. Además se encuentra arcilla entre las boyas 48 y 51. El resto del material a esta profundidad es igual que para la cota 9.75 m.

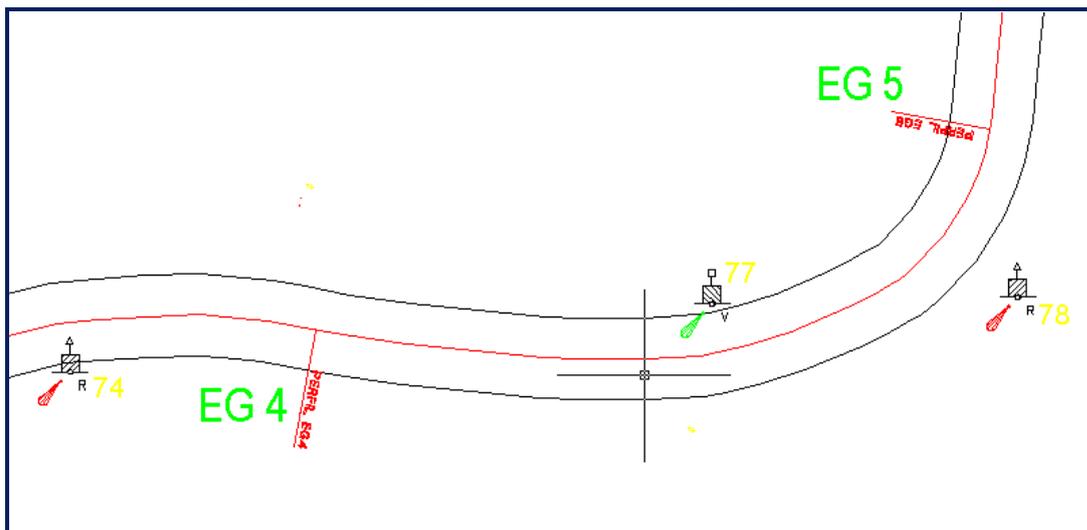
Para las profundidades de 10.5 y 11 m las longitudes en las que se encuentran los estratos rocosos en el sector de Goles y en entre las boyas 10 y 12 aumenta. Además a estas profundidades aparece un nuevo afloramiento rocoso en el sector de Goles. Y de manera similar que para la profundidad de 10 m el resto del material en los demás sectores sigue siendo el mismo.

8.7 Análisis de estabilidad de taludes de las condiciones actuales del canal

En esta sección se evaluó la estabilidad de los taludes en las condiciones o estado de esfuerzos actuales para lo cual se utilizaron modelos generados mediante un algoritmo de elementos finitos en el software Plaxis V. 9.

Para verificar la estabilidad del material ubicado en el fondo y sub-fondo del canal, se realizaron cinco perforaciones (EG5 a EG1) para con estas elaborar perfiles Geológicos - geotécnicos, cada uno transversal al eje del canal utilizando los parámetros de suelo obtenidos con cada una de las perforaciones. Sin embargo, debido a que los taludes más críticos para la condición actual (etapa evaluada en este informe) corresponden a los modelados en base a las perforaciones EG5 y EG4, a continuación se presentan únicamente estos dos modelos. Las geometrías del fondo marina caracterizadas por las perforaciones EG3, EG2 y EG1, muestran una casi horizontalidad es decir pendiente mucho menores a las evaluadas. En la siguiente fase se presentara la evaluación de la estabilidad de los taludes para los tres perfiles restantes en donde ya se simularan los cortes durante las etapas de conformación de los taludes durante las etapas de dragado.

Figura 23. Vista en planta localización de los perfiles analizados



8.7.1 Análisis mediante el método de elementos finitos

El análisis de elemento finito ha sido usado ampliamente por varios años en la ingeniería geotécnica, para calcular la respuesta de suelos y rocas. La selección de las dimensiones generales del modelo del elemento finito y el tipo de fronteras empleadas son muy importantes.

Para que la evaluación de la estabilidad sea significativa, el análisis de elemento finito debe emplear una relación esfuerzo-deformación representativa del comportamiento del geomaterial.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-55

8.7.2 Análisis de estabilidad mediante PLAXIS V.9

PLAXIS es un paquete que utiliza el elemento finito, específicamente diseñado para el análisis de la deformación y la estabilidad de proyectos de ingeniería geotécnica. Las aplicaciones geotécnicas requieren modelos constitutivos avanzados para la simulación de comportamientos de suelos no lineales y dependientes del tiempo, así como de rocas como medios discontinuos. Además, como los geomateriales son materiales que presentan múltiples fases, se requieren procedimientos especiales para tratar con presiones de poro hidrostáticas y no – hidrostáticas en el suelo.

El factor de seguridad se define usualmente como la relación entre la carga de falla y la carga de trabajo. Esta definición es válida para estructuras de cimentación, pero no para taludes y terraplenes. Para este tipo de estructuras es más apropiado usar la definición de mecánica de un factor de seguridad, la cual es la relación del esfuerzo cortante disponible entre el esfuerzo cortante mínimo necesario para el equilibrio. PLAXIS puede ser usado para calcular este factor de seguridad usando un procedimiento de reducción de la resistencia al esfuerzo cortante ($c-\Phi$ reduction).

PLAXIS tiene aplicaciones gráficas para ver los resultados calculados. Los valores exactos de desplazamientos, esfuerzos y fuerzas estructurales pueden ser obtenidos en tablas. Una herramienta especial está disponible para dibujar curvas carga–desplazamiento, esfuerzo–trayectoria y diagramas esfuerzo–deformación.

La visualización de trayectorias de esfuerzos provee particularmente una valiosa idea del comportamiento local del geomateriales y dispone un análisis detallado de los resultados.

8.7.3 Análisis de las condiciones actuales

Considerando las condiciones particulares de los tipos de suelos encontrados en el sitio, se caracterizó su comportamiento con base en el criterio de falla Mohr-Coulomb. A continuación se incluye un detalle de las propiedades del suelo y geometría de los taludes

Tabla 8 Modelo geotécnico basado en la perforación EG5. (F/S: Fin del sondeo)

Materiales	Prof. (m)	C (kN/m ²)	Φ (°)	E (kPa)
Arcilla consistencia muy blanda a blanda	0.00 – 9.50	22	0	6600
Arena de compacidad densa a muy densa	9.50 – 12.85 (F/S)	0	38	25000

Figura 24 Modelo del talud del fondo y subfondo marino caracterizado con la perforación EG5

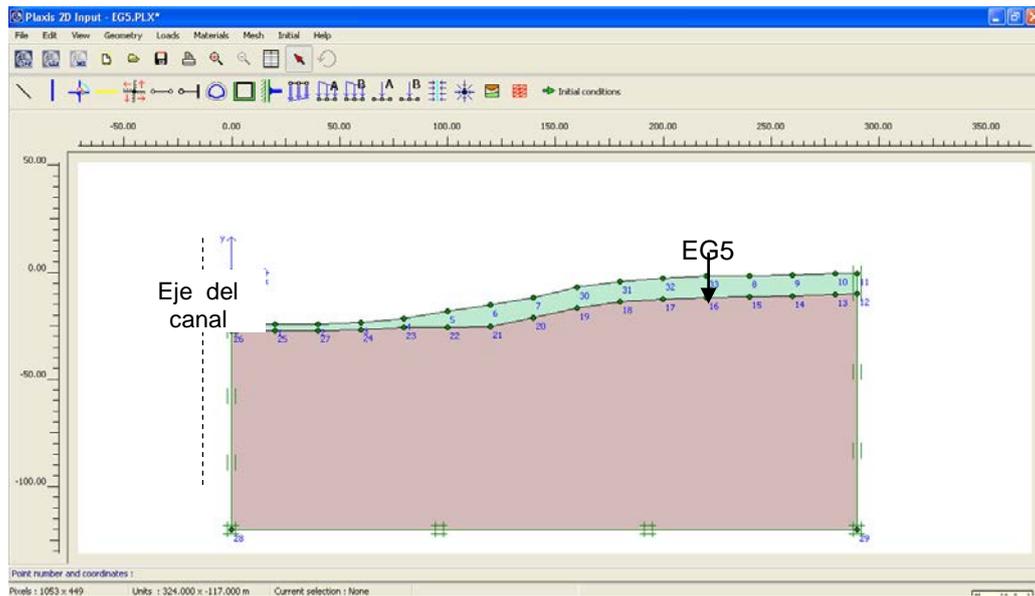
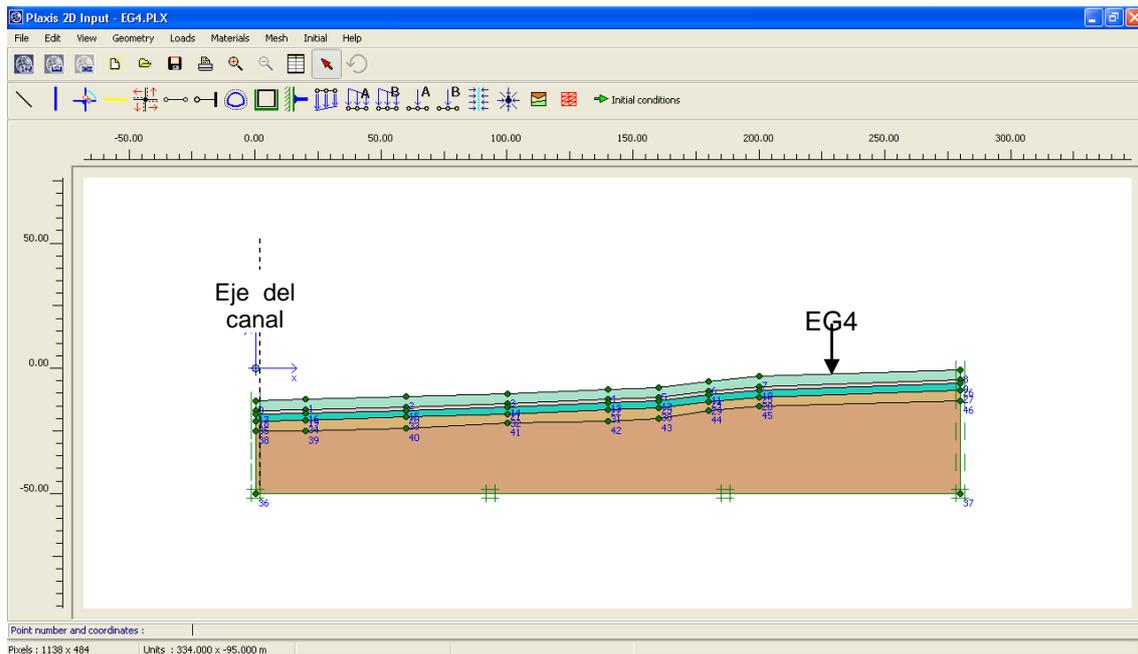


Tabla 9 Modelo geotécnico basado en la perforación EG4. (F/S: Fin del sondeo)

Materiales	Prof. (m)	C (kN/m ²)	Φ (°)	E (kPa)
Arcilla consistencia muy blanda a blanda	0.00 – 4.00	10	0	4500
Arena de compacidad muy suelta	4.00 – 5.45	0	28	6000
Arcilla de consistencia blanda	5.45 – 8.35	20	0	5000
Arena de compacidad suelta	8.35 – 12.70	0	35	8000
Arena de compacidad densa a muy densa	12.70 – 18.5 (F/S)	0	38	25000

Figura 25. Modelo del talud del fondo y subfondo marino caracterizado con la perforación EG4



8.8 Análisis de las condiciones actuales

De los análisis realizados se determinó que los taludes que se forman a la altura de la perforación EG5 y EG4 son los más críticos dada su configuración y características de los materiales, las mayores pendientes para los perfiles anteriormente nombrados son 5:1 para el EG5 y 8:1 para el EG4, mientras que para los sitios donde se realizaron las perforaciones EG3, EG2 y EG1, actualmente el fondo marino es prácticamente horizontal o con pendientes mucho menores a los analizados.

En las graficas siguientes se presentan las superficies de falla potencial y sus factores de seguridad correspondiente en cada caso, tanto para el modelo de la perforación EG5 como para la perforación EG4.

Para el caso de la perforación EG5 la superficie de falla se da a 80, a partir del eje del canal, de forma circular, mostrando actualmente un factor de seguridad de 1.2, por lo que cuando se realicen los cortes para el dragado se tendrá que analizar considerando una pendiente menor a la actual. Esto será analizado con detalle en la siguiente fase del presente estudio, basándonos en los buques de diseño escogidos.

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-58

Figura 26. Diagrama de la superficie de falla potencial usando el sector de EG4

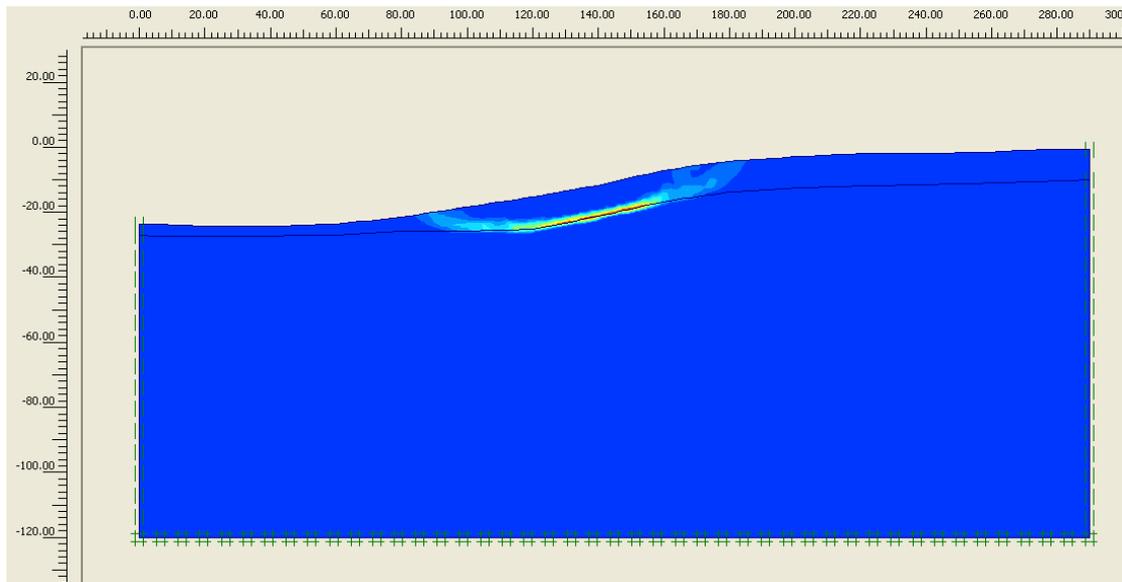
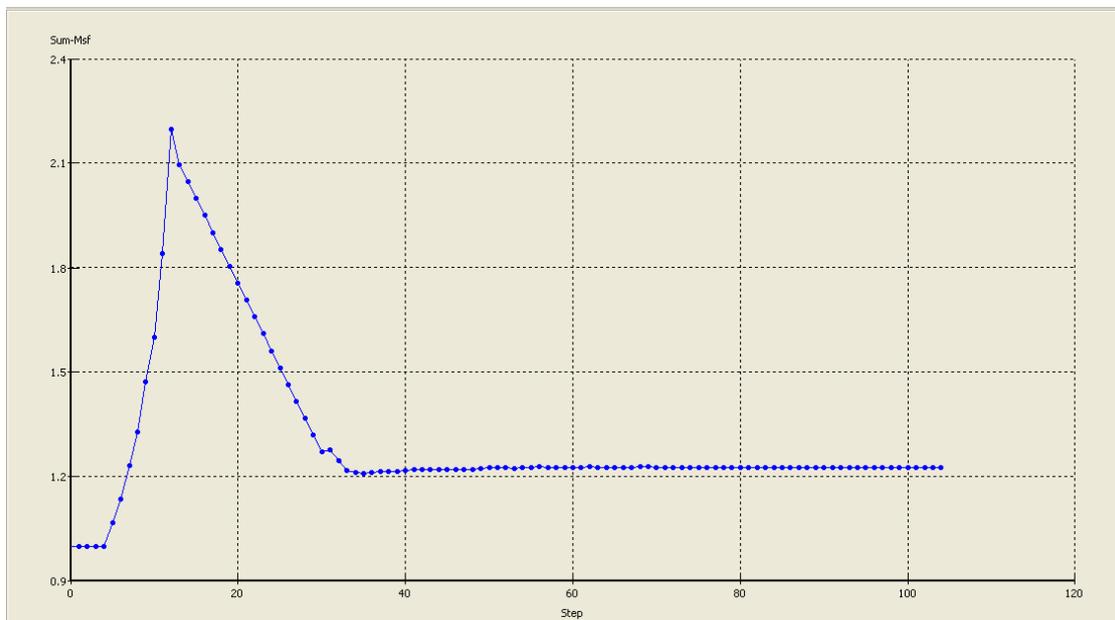


Figura 27. Variación del factor de seguridad



En el caso del modelo realizado en base a la perforación EG4, se presenta la superficie de falla a aproximadamente 140 m del eje del canal, por lo que se estima que estaría fuera de la franja o ancho del canal. Actualmente es un talud estable, sin embargo en la siguiente fase se evaluará la etapa de dragado.

Figura 28. Diagrama de la superficie de falla potencial usando el sector de EG4

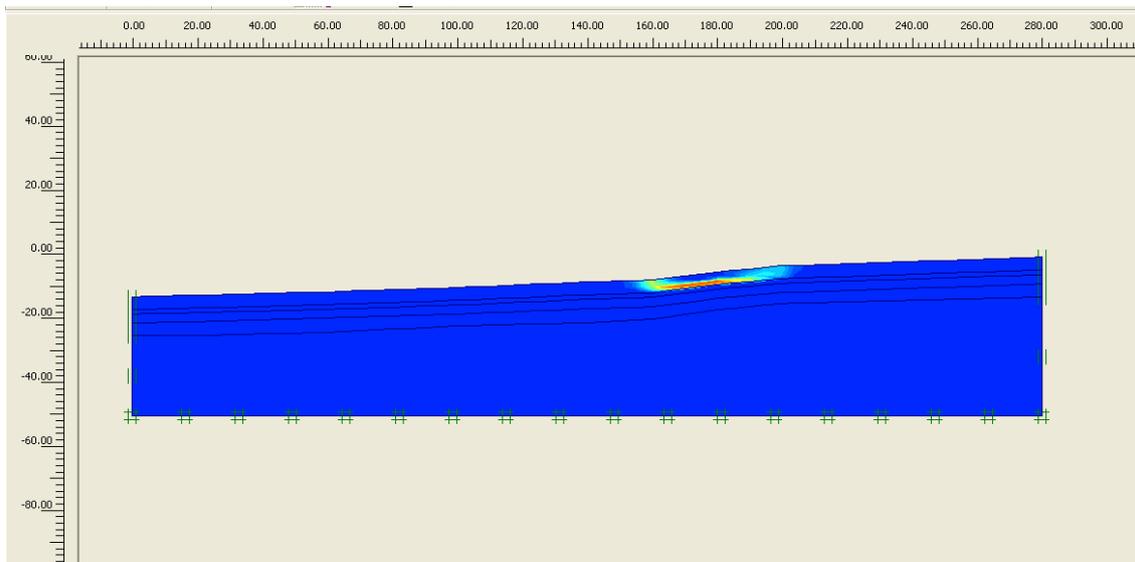
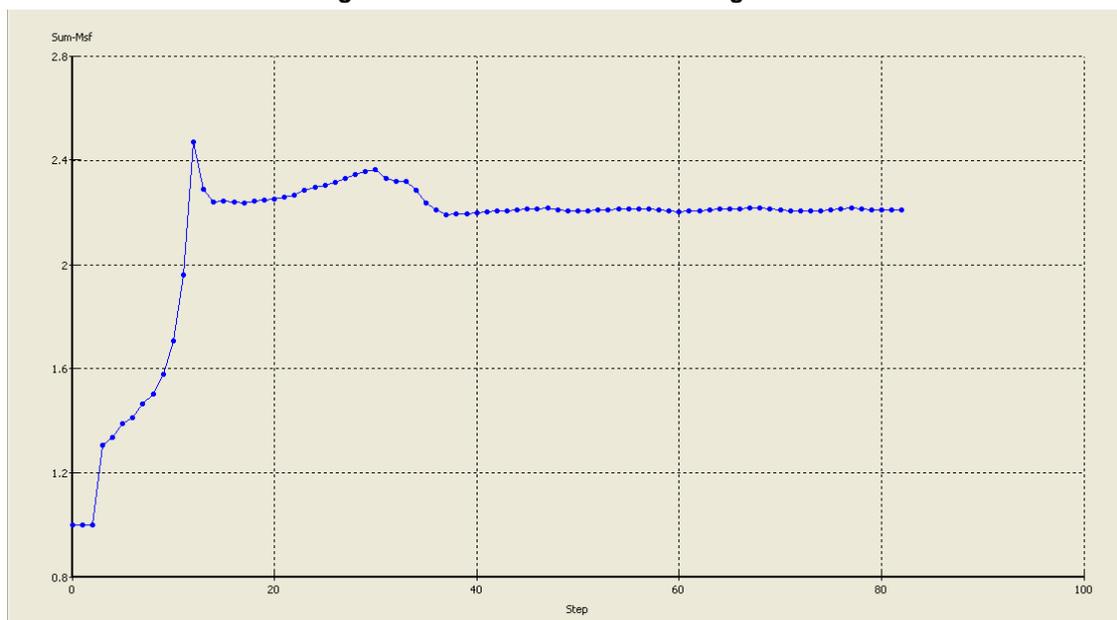


Figura 29. Variación del factor de seguridad





8.9 Bibliografía

- Autoridad Portuaria de Guayaquil, Anuario, 2008
- Cartas Náuticas, IOA 1070, IOA 1071
- Derrotero de las Costas Continentales e Insulares de la República del Ecuador, INOCAR, 2005
- Estudios Hidrográficos, Oceanográficos y Geológicos para resolver los problemas de sedimentación en el Canal de Acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil y en el área de la Esclusa (Río Guayas – Estero Cobina). INOCAR 1984
- Estudio de Impacto Ambiental para el Dragado del Canal de Acceso a Puerto Marítimo de Guayaquil, INOCAR 1998
- Estudios de Ingeniería para el Dragado y Plan de Manejo Ambiental del Área de los Goles en el Canal de Acceso a Puerto Marítimo, GEOESTUDIOS – APG, 2011
- Puerto Nuevo, Julio Estrada Icaza, 1999
- Recomendaciones de Obras Portuarias, Normas ROM 3.1 – 99, 1999
- SHORE PROTECTION MANUAL. Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, 1983
- Manuel De Miró, 1972, Curso de Geología Marina, INOCAR-PNUD, Guayaquil.
- Stalin Benitez, 1975, Morfología y sedimentos de la plataforma continental del golfo de Guayaquil, Tesis de Grado para el título de Ing. Geólogo-ESPOL.
- Rodolfo Cruz, 1974, Morphodynamics and Sedimentation of the rio Guayas Delta, Ecuador (Morfodinámica y sedimentación del Delta del río Guayas, Ecuador), Tesis doctoral en la Universidad de LouisianaState, USA.
- Stalin Benitez, 1995, Esquisse Geodynamique de la Cote Equatorienne entre le Cretacé et le Quaternaire (Evolución geodinámica de la costa ecuatoriana entre el Cretáceo y el Cuaternario), tesis de Doctorado de La Universidad de GRENOBLE-FRANCIA.
- Luis Moreira, 2001, Enfoque Geodinámico de la Isla Santa Clara del Golfo de Guayaquil, Tesis para Ing. Geólogo de la ESPOL, Guayaquil – Ecuador, 2001.
- Stalin Benítez, 2005, ESTUDIO GEOLÓGICO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL: ETAPA FINAL, en "Investigación y estudio del comportamiento dinámico del

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-61



subsuelo y microzonificación sísmica de la ciudad de Guayaquil, UNIVERSIDAD CATOLICA DE GUAYAQUIL-IIFIUC".

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-62



8.10 Anexos

8.10.1 Anexo A: Registros de cada una de las muestras

Se encuentra en los documentos adjuntos

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-63



8.10.2 Anexo B: Reportes los ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Hidrómetro y Gravedades específicas

Se encuentra en los documentos adjuntos

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-64



8.10.3 Anexo C: Planos

Se encuentra en los documentos adjuntos

Autoridad Portuaria de Guayaquil	Contrato: Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. respecto al MLWS.	Revisión: 0	Página
Asociación Geoestudios – Consulsua	Contrato No. 41 – 2011	Fecha: Febrero 2012	8-65