

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Postgrados

Aplicación de Sistemas de Información Geográfica para la actualización de las líneas de costa de la pleamar más alta y baja de Sicigia en el canal de ingreso al cantón San Lorenzo, en la Provincia de Esmeraldas.

Marco Andrés Delgado Aguilera

Richard Resl, Ph.Dc., **Director de Tesis**

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

Quito, Junio de 2013

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Postgrados

HOJA DE APROBACION DE TESIS

Aplicación de Sistemas de Información Geográfica para la actualización de las líneas de costa de la pleamar más alta y baja de Sicigia en el canal de ingreso al cantón San Lorenzo, en la Provincia de Esmeraldas.

Marco Andrés Delgado Aguilera

Richard Resl, Ph.Dc.

Director de la Tesis

Pablo Cabrera, Ms

Miembro del Comité de Tesis

Richard Resl, Ph.Dc.

Director de la Maestría en Sistemas de Información Geográfica

Stella de la Torre, Ph.D.

Decana del Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

Víctor Viteri Breedy, Ph.D.

Decano Colegio de Postgrados

Quito, Junio de 2013

© DERECHOS DE AUTOR

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

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

Firma:

Nombre: Marco Andrés Delgado Aguilera

C. I.: 171358628-5

Fecha: 11-JUN-2013

RESUMEN

Esta tesis sobre "Actualización de las líneas de costa de la marea más alta y la más baja de sicigia, en la entrada del canal de San Lorenzo en la Provincia de Esmeraldas", es un trabajo de investigación basado en las necesidades de la comunidad pesquera y mercante que vive en esa zona. La comunidad desea una delineación exacta de la línea de costa basado su cambio en las mareas con el fin de obtener una herramienta de planificación que identifique los impactos en los cambios de marea en sus espacios naturales y evalúa la idoneidad para la navegación y el tránsito de las pequeñas y medianas embarcaciones en el puerto de San Lorenzo. El objetivo principal de los cálculos resultantes con SIG es proporcionar una base sólida de información que evalúe el potencial de reactivar el comercio existente a través de los cursos de agua en la región. Por esta razón, y una vez que la investigación pertinente muestra el gráfico adecuado de modelización, la tarea consiste en identificar el ancho del canal actual y la variación de flujo continuo en el tiempo, con la marea alta y la baja natural dominante en el sector, y por lo tanto para identificar donde la variación de éste espacio resulta una ventaja y / o desventaja para la navegación de pesqueros y otras embarcaciones, para que puedan ampliar su visión del comercio nacional e internacional.

ABSTRACT

This thesis on "Updating the coastlines of the highest and lowest tide of Syzygies in the channel entrance to San Lorenzo in Esmeraldas Province," is a research work based on the needs of the fishing and merchant community living in that area.

They ask for an exact delineation of the coastline shifts based on the tides in order to obtain a planning tool that identifies impacts on tide shifts on their natural areas and evaluates the suitability for navigation and transit of small and medium sized vessels into the port of San Lorenzo. The main purpose of the resulting calculations with GIS is to provide a sound basis of information that evaluates the potential of reactivating the existing trade through water ways in the region. For this reason, and once the relevant research shows the appropriate graphic modeling, the task is to identify the current channel width and continuous inflow variation over time, with the natural, the dominant high and low tide in the sector; and thus to identify where the variation of this space results as an advantage and / or disadvantage for the navigation of fishing and other vessels, so that they can expand their vision of national and international trade.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	13
CAPITULO I.....	14
I. MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
A. UBICACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	14
B. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROBLEMÁTICA	16
C. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	18
D. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
E. JUSTIFICACIÓN	20
F. OBJETIVOS	21
1. OBJETIVO GENERAL	21
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
G. HIPÓTESIS	22
H. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	22
II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	23
A. MARÍTIMOS COSTEROS	23
1. LINEA DE COSTA	24
2. PROFUNDIDADES Y VERILES	24
3. ENSENADAS	24
4. CLIMA.....	24
5. MAREAS VIVAS O DE SICIGIA (GARRO, 2012).....	25
6. FASES DE LA PLEAMAR MÁS ALTA DE SICIGIA.....	25
7. PLEAMAR Y BAJAMAR DE SICIGIA (MAREA).....	28
8. CORRIENTES DE MAREA	29
9. MAREAS TERRESTRES.....	30
10. OTRAS CAUSAS DE VARIACIÓN	30
11. CONDICIONES METEOROLÓGICAS.....	31
12. ELEMENTO METEOROLÓGICO.....	32
13. CORRIENTES FRENTE A LAS COSTAS DEL ECUADOR	32
B. GEOLOGIA Y GEOFISICA MARINA DEL ECUADOR.....	35
1. GEOFISICA.....	36
2. SISMOLOGÍA	36
3. BATIMETRÍA.....	37
4. GRAVIMETRÍA.....	37
CAPITULO II.....	38
I. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....	38
A. MÉTODOS Y TÉCNICAS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN.	38
1. MÉTODO CIENTÍFICO.....	38

2. <i>MÉTODO DEDUCTIVO</i>	39
B. TÉCNICAS	39
II. CONSTRUCCIÓN METODOLÓGICA DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN	40
A. MARCO TEÓRICO	42
CAPITULO III	44
I. DESCRIPCIÓN Y RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	44
A. INFORMACIÓN OBTENIDA	44
1. <i>DINÁMICA DE LOS OCEANOS</i>	49
B. ANALISIS DE INFORMACION SOBRE ESTUDIOS PREVIOS DEL SECTOR.....	54
1. <i>SOBRE LAS CORRIENTES DEL SECTOR</i>	54
II. CONSTRUCCIÓN DE LA CARTA NAUTICA CON LA IDENTIFICACIÓN DE LAS NUEVAS LÍNEAS DE COSTA.....	58
A. CARTA TOPOGRÁFICA: SAN LORENZO DE ESMERALDAS ESCALA 1:50.000 (CT-ÑI-E1)	59
B. CARTA NÁUTICA IOA 100 ESCALA 1:100.000	64
C. CARTA NÁUTICA IOA 1003 ESCALA 1:12.500	67
D. FOTO SATELITAL SRTM (21-12)	71
E. COMPARACION CARTA TOPOGRAFICA CT-ÑI-E1 VERSUS CARTAS NAUTICAS IOA 100, IOA 1003, FOTO SATELITAL GOOGLE EARTH Y FOTO SATELITAL SRTM 21-12	73
III. RESULTADOS	83
IV. CONCLUSIONES.....	86
V. RECOMENDACIONES	88
VI. BIBLIOGRAFÍA.	91

TABLA DE GRÁFICOS

Fig. 1 Ilustración de la Zona de Pesca de las Costas de Esmeraldas.....	15
Fig. 2 Vista Canal de Acceso al Puerto San Lorenzo.....	23
Fig. 3 Representación Movimiento de Precesión.....	27
Fig. 4 Representación Movimiento de Nutación.....	27
Fig. 5 Representación Gráfica Pleamar y Bajamar de Sicigia.....	28
Fig. 6 Representación Fuerza de Atracción Asociada a la Orbita.....	30
Fig. 7 Representación Amplitud de Marea.....	30
Fig. 8 Representación Mareas en los Equinoccios.....	31
Fig. 9 Representación Gráfica de las Corrientes.....	35
Fig. 10 Ubicación de las estaciones mareográficas y.....	44
Fig. 11 Gráfico de Dispersión de datos de marea DIC/2000.....	47
Fig. 12 Gráfico de Tendencia de marea DIC/2000 proyectada a DIC/2011.....	48
Fig. 13 Gráfico de Tendencia de marea DIC/2011 proyectada a DIC/2000.....	48
Fig. 14 Gráfica del movimiento horizontal de las corrientes - <i>Flujo</i>	56
Fig. 15 Gráfica del movimiento horizontal de las corrientes - <i>Reflujo</i>	56
Fig. 16 Carta Topográfica CT-ÑI-E1 del cantón San Lorenzo.....	61
Fig. 17 Delimitación de la Zona de Estudio según.....	62
Fig. 18 Identificación de la Línea de Costa del Cantón San Lorenzo según.....	63
Fig. 19 Identificación de la Línea de Costa y zona de peligro (Sedimentación) del Cantón San Lorenzo según Carta Topográfica CT-ÑI-E1.....	63
Fig. 20 Carta Náutica IOA 100 “Cabo Manglares -.....	64
Fig. 21 Identificación de la Línea de Costa del Cantón San Lorenzo según.....	65
Fig. 22 Aparición de extensiones de terreno fuera.....	66
Fig. 23 Identificación de la Línea de Costa y zona de poca profundidad (Sedimentación) del Cantón San Lorenzo según Carta Náutica IOA-100.....	67
Fig. 24 Carta Náutica IOA 1003.....	68
Fig. 25 Identificación de la Línea de Costa del Cantón San Lorenzo según.....	69
Fig. 26 Identificación de la zona de poca profundidad (Sedimentación) del Cantón San Lorenzo según Carta Náutica IOA-1003.....	70
Fig. 27 Foto Satelital del Sistema de Referencia Mundial (WRS) obtenida por el sensor Landsat 7. SRTM 21-12.....	72
Fig. 28 Zoom del área de estudio de la fotografía satelital SRTM 21-12.....	73
Fig. 29 Comparación de Fotografía Satelital SRTM 21-12 con Carta Topográfica CT- ÑI-E1 a Escala 1:105.000.....	74
Fig. 30 Comparación de Fotografía Satelital SRTM 21-12 con Carta Náutica IOA 100 a Escala 1:105.000.....	74
Fig. 31 Comparación de Fotografía Satelital SRTM 21-12 con Carta Náutica IOA 1003 a Escala 1: 70.000.....	75

Fig. 32 Comparación de Fotografía Satelital SRTM 21-12 con Carta Náutica IOA 1003 a Escala 1:50.000	75
Fig. 33 CT- ÑI-E1 a Escala 1:10.000 con proyección de sus muelles Año 1998; posee error de graficación en el islote donde se encuentra la Baliza B-4	76
Fig. 34 CT- ÑI-E1 a Escala 1:10.000 con identificación de error en la graficación de los muelles.	77
Fig. 35 Carta IOA 100 a Escala 1:10.000; se puede observar que la proyección de los muelles de 1998 no se ajustan a la línea de costa presentada en esta carta, así como también no se encuentra dibujado el islote y la baliza.	78
Fig. 36 Carta IOA 100 a Escala 1:10.000; se aprecia que la geo referenciación de los muelles del sector de estudio no están ajustados a la línea de costa.	78
Fig. 37 Carta IOA 1003 a Escala 1:10.000; a primera vista se puede detectar un error en la ubicación geográfica de la Baliza de Posicionamiento B-4	79
Fig. 38 Carta IOA 1003 a Escala 1:10.000; las mediciones de profundidad están al límite de la línea de costa de la bajamar de sicigia.	79
Fig. 39 Fotografía Satelital SRTM 21-12; ajustada con datos de línea de costa, islote y Baliza B-4 con la Carta Topográfica CT- ÑI-E1. Escala 1:10.000.	80
Fig. 40 En la fotografía Satelital SRTM 21-12; se puede observar la desaparición de la ensenada cercana al muelle militar, lo cual demuestra el cambio de la línea de costa de la carta IOA 100. Escala 1:7.000.	81
Fig. 41 Carta IOA 1003, al ser traslapada con la fotografía Satelital SRTM 21-12; se puede observar también la desaparición de la ensenada cercana al muelle militar, lo cual demuestra el cambio de la línea de costa. Escala 1:10.000.	82
Fig. 42 Mapa Temático con la identificación de los errores en las	83

TABLA DE DATOS

Tabla I Datos de marea válidos sector de Esmeraldas.....	45
Tabla II Previsión de Marea de San Lorenzo y su nivel medio 2011	46
Tabla III Previsión de Marea de San Lorenzo y su nivel medio 2000	46
Tabla IV Distribución Superficial de las Corrientes	55
Tabla V Distribución Vertical de las Corrientes	57
Tabla VI Distribución Vertical de las Corrientes	58

ÍNDICE DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

<i>C.T.</i>	<i>Carta Topográfica.</i>
<i>CPCB-SU</i>	<i>Capitán de Corbeta - Superficie</i>
<i>Eddys</i>	<i>En dinámica de fluido, es el remolino de un fluido y la corriente inversa creada cuando el fluido fluye más allá de un obstáculo.</i>
<i>G.P.S.</i>	<i>Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)</i>
<i>I.G.M.</i>	<i>Instituto Geográfico Militar</i>
<i>I.N.A.M.H.I.</i>	<i>Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología</i>
<i>I.N.O.C.A.R.</i>	<i>Instituto Oceanográfico de la Armada</i>
<i>I.O.A</i>	<i>Instituto Oceanográfico de la Armada</i>
<i>N.A.S.A</i>	<i>National Aeronautics and Space Administration (Aeronáutica Nacional y Administración Espacial)</i>
<i>N.M.M.</i>	<i>Nivel Medio del Mar</i>
<i>N.M.M.G.</i>	<i>Nivel Medio del Mar Global</i>
<i>RE.MA.CA.M.</i>	<i>Reserva Ecológica de Manglares Cayapas Mataje.</i>
<i>S.R.T.M.</i>	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
<i>U.T.M.</i>	<i>Universal Transverse Mercator (Universal Transversa de Mercator)</i>
<i>W.R.S.</i>	<i>World Reference System (Sistema de Referencia Mundial)</i>

INTRODUCCIÓN

El presente documento servirá para la aplicación en el ámbito de la transportación marítima vigente en el Ecuador, así como también para el estudio de señalización marítima que empleará el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) para difundirla en los documentos de Ayudas a la Navegación, para los pilotos de naves de pequeño, mediano y gran calado que realizan recaladas en dicho sector.

Con la implementación de este estudio, se podrán beneficiar otras instituciones públicas y privadas, que tenga expectativas del mejoramiento social y productivo en la región.

La información que se derive de este estudio será útil para mejorar el ordenamiento urbano y rural de la población de este cantón, así como también ayudará a prevenir el uso indiscriminado de las áreas de playas y bahías, así como también ayudará a delimitar las áreas de conservación para la pesca, flora y fauna reinante en los accesos al canal de San Lorenzo y la afectación a las cuales puedan verse por el efecto de la corrientes marinas.

En cuanto al empleo de este estudio para la empresa privada, servirá para realizar un diagnóstico de factibilidad de cuanto al establecimiento de un puerto marítimo, con facilidades portuarias de mediana escala para exportación de materias primas como el aceite de palma, algodón, banano y productos derivados del petróleo.

CAPITULO I

I. MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

A. UBICACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

El Puerto de San Lorenzo se encuentra ubicado en el interior del Canal de Bolívar, aproximadamente a 3mts., de altura sobre el nivel del mar. Es un puerto netamente pesquero y maderero que tiene fácil acceso con el Puerto Comercial de Esmeraldas y demás poblaciones de la sierra.

El puerto posee un muelle artesanal de aproximadamente 70 mts. de largo construido de madera y metal y de forma ovalada debido al canal y a su profundidad el cual facilita las faenas artesanales pesqueras; las profundidades promedios son de 5 mts.

El área de San Lorenzo se extiende desde el extremo fronterizo norte desde la boca del río Mataje continuando con la isla San Pedro, y la Punta Bolívar al sur, formando así el canal de bolívar que se adentra formando un sinnúmero de canales donde se asienta la población. El fondo de todo el canal de acceso es de tipo arenoso y/o fangoso.

Al ser éste un puerto pesquero por excelencia, donde las actividades artesanales de pesca son parte del aparato productivo de la población de este sector; se establece que su economía se basa fuertemente en la pesca y en la obtención de árboles como caoba, balsa y caucho, que se encuentran en vastas extensiones de terreno que colidan con la Reserva Ecológica de Manglares Cayapas Mataje (REMACAM). Sin duda la actividad productiva tradicional de esta población se ha mantenido por varios años en la

explotación de sus recursos pesqueros y madereros, su ubicación geográfica la privilegia para exportar muchos de sus productos hacia el país vecino de Colombia, quien por varios años ha apetecido el producto Ecuatoriano; pero estas actividades comerciales han utilizado las rutas fluviales del canal de acceso al Cantón San Lorenzo durante muchos años, puesto que éste, ya contaba con un muelle de transferencia de carga a través del circuito ferroviario nacional del norte hacia buques de mediano calado para poder exportar básicamente productos madereros brutos.

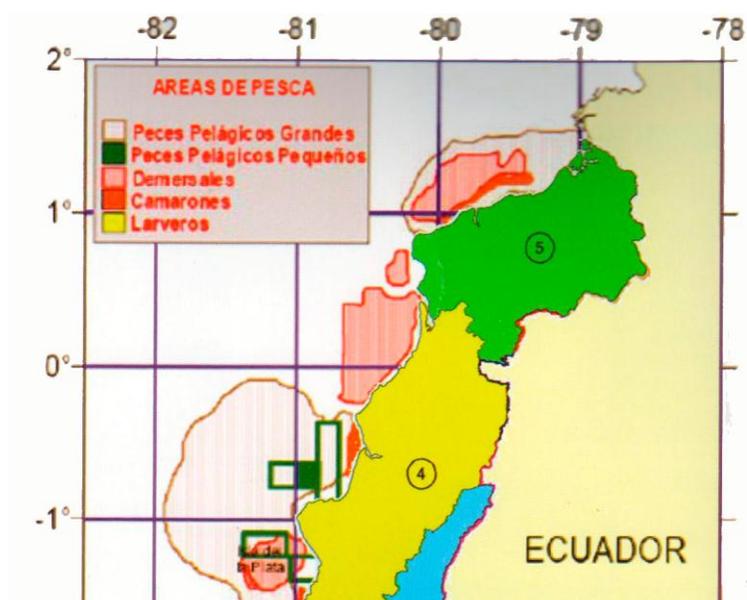


Fig. 1 Ilustración de la Zona de Pesca de las Costas de Esmeraldas.
Fuente: Manual para el Control de Actividades Pesqueras (Comando de Guardacostas Ecuador). Año 2012

Este canal como muchos de otros de igual composición de fondo, se han sedimentado, y por lo tanto, su profundidad se ha reducido por la acumulación de sedimentos provenientes de las vertientes rivereñas debido a la tala indiscriminada de manglar y al uso de estas vías como redes de evacuación de contaminantes sólidos que se desprenden de la falta de un método de evacuación de contaminantes de desecho realizado por la población en general.

Debido a la falta de profundidad en el canal de San Lorenzo, durante un lapso aproximado de 18 años no han podido navegar buques de mediano calado para flexibilizar las condiciones de comercio del sector, y al mismo tiempo las líneas de costa del área que comprenden tanto el muelle artesanal como el muelle militar, colindante con la parte urbana de la ciudad, se ha tornado un problema para el crecimiento urbano de la población debido a la variación de los niveles de profundidad y sedimentación y no de la marea, la cual ha generado una extensa zona de poco firmeza del suelo colindante entre la rivera y la zona urbana y que estaba destinada a la creación de nueva infraestructura urbanística. Así mismo el muelle de carga en la actualidad está afectado por el exceso de sedimento que se acumula en las 500 yardas del punto de descarga, debilitando de esta manera las bases de los pilotes de sujeción de las rieles de tren, y en cuanto al muelle artesanal, se puede decir que el acceso de embarcaciones está limitado únicamente para embarcaciones menores a 3,5 metros de calado.

B. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROBLEMÁTICA

La costa continental ecuatoriana, con una extensión aproximada de 950 Km., está ubicada entre $1^{\circ} 26' N$ y $3^{\circ} 25' S$, en la costa oeste de Sudamérica y por lo tanto sujeta a los procesos tectónicos de los bordes de placas.

La subducción de la Placa Nazca Sudamericana origina dos ambientes epicentrales, uno en el continente y otro en la plataforma submarina en el Ecuador como es su caso dado por la cordillera de Carnegie. No siendo solo estos factores parte del problema, sino del exceso de movimiento de sedimentos a través del canal de San Lorenzo hasta la población de este cantón con la ayuda de los desplazamientos de masas de agua como son las mareas.

Como se indicó anteriormente el problema de la rivera o canal de acceso al cantón San Lorenzo se ve afectada básicamente por el exceso de sedimentación en las zonas de carga de mercaderías de exportación como son el muelle artesanal, lo cual afecta al crecimiento económico y comercial de la actividad pesquera, maderera entre otras, las cuales requieren del empleo de éste canal y sus muelles como elementos que flexibilizan la comunicación e intercambio comercial entre Colombia y Ecuador; por lo que esta ruta fluvial es la más idónea para ampliar su comercio y/o para transporte de personal hacia los poblados aledaños; así como también para el ingreso de mercancías o insumos provenientes del vecino país de Colombia; motivo por el cual se identifica la prioridad de tener una vía de comunicación expedita y segura, con capacidad de dar servicio fluvial o marítimo a embarcaciones de pequeño, mediano y gran calado, así como también identificar las áreas que no pueden ser destinadas para el crecimiento urbano.

Actualmente los sensores de marea proveen de datos fundamentales para los diversos estudios de oleajes y profundidad; a lo largo del perímetro del Océano Pacífico se encuentran instalados una serie de sensores de mareas¹ que sirven para la toma de datos estadísticos de la fluctuación de la marea y sus cambios naturales, generalmente por medio de estos datos se ha podido identificar la creciente actividad de la marea, ya que este es un fenómeno astronómico y no de la naturaleza cambiante del medio por exceso en la sedimentación de mencionado canal.

Los datos de marea se presentan de manera armónica y uniforme en la zona del canal de San Lorenzo, con información recolectada desde el mes de Diciembre de año 2000 hasta el mes de Diciembre de 2011, donde se podría

¹ Los sensores de marea, son parte del sistema de alerta de tsunami que previenen a los residentes costeros de posibles olas generadas sísmicamente, asociadas principalmente con los terremotos y desplazamientos de corteza

deducir que no existe cambio o alteración la marea, para efectos de identificar si estas influyen o no sobre las líneas de costa; ya que como quedo mencionado anteriormente éste es un ***fenómeno astronómico***.

C. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las líneas de costa de la rivera del canal de acceso a la zona urbana del Cantón San Lorenzo, han variado por efecto de factores naturales como son las corrientes fluviales, los movimientos de masas de agua cargadas de sedimentos y la contaminación ambiental provocada por el hombre, lo cual ha generado una sedimentación excesiva frente a la zona urbana, lo que ha sido aprovechada por varios pobladores de este Cantón, para la construcción de nueva infraestructura que se encuentre lo más cercano posible a áreas navegables de esta ruta fluvial, con el objeto de aprovechar los beneficios que presta esta vía de comunicación para el transporte de mercancías hacia otros poblados nacionales o internacionales.

Sin duda este crecimiento que se ha proyectado más allá de las líneas de costa establecidas, en la actualidad están siendo consideradas como parte urbana estable de la ciudad, sin dar opción a identificar el nivel de riesgo al que están expuesta la población al tener infraestructura montada sobre zonas de alta concentración de sedimentos, debido a la falta de un estudio que identifique las zonas continuas a las líneas de costa que representan tanto un riesgo para la infraestructura ahí construida, como también a la seguridad de la navegación para embarcaciones de transito comercial, pasajeros, carga o combustibles.

La presente investigación contempla la identificación de una zona de peligro continua a las líneas de costa conocidas y que deben ser

actualizadas para seguridad de todas aquellas personas que utilizan este canal para sus actividades económicas, comerciales, transporte u ocio.

Lo anteriormente dicho me conduce a plantear el siguiente problema científico.

¿QUE PROBLEMA OCASIONA LA FALTA DE UNA CARTA QUE IDENTIFIQUE LA ZONA DE ACUMULACION DE SEDIMENTACION COLINDANTE CON LAS LINEAS DE COSTA DEL CANTON SAN LORENZO, PARA MEJORAR LA SEGURIDAD DE LA NAVEGACION DE TODOS QUIENES EMPLLEN ESTA RUTA FLUVIAL PARA SUS ACTIVIDADES ECONOMICAS?

D. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La investigación que estoy realizando se refiere a la actualización de las líneas de costa de la pleamar más alta y baja de Sicigia en el canal de ingreso al cantón San Lorenzo, en la Provincia de Esmeraldas, debido a procesos naturales de corrientes, mareas, movimientos de masas y sedimentos, para lo cual tomaremos como referencia la extensión de la línea de costa comprendida entre el muelle artesanal y el muelle militar de mencionado cantón, y el nivel de riesgo que esto puede provocar por falta de planificación urbana y medidas de contingencia para evitar asentamientos poblacionales en esta área.

El presente trabajo involucra datos obtenidos por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), así como también estudios de impacto ambiental realizados en mencionado sector.

Del problema principal se derivan otros, los mismos que permiten visualizar de mejor forma la problemática existente. Estos problemas son:

1. ¿Qué impacto puede generar sobre la población urbana, la identificación de la zona de riesgo en las líneas de costa del Cantón San Lorenzo para sus actividades comerciales?
2. ¿Cómo afecta la situación urbanística del Cantón San Lorenzo ante la identificación de esta zona de riesgo para la población?

E. JUSTIFICACIÓN

Una vez detallada la problemática en cuanto a las líneas de costas del cantón San Lorenzo, se puede indicar, que el presente estudio establecerá las zonas de riesgo para navegantes artesanales o industriales, así como las áreas que no deben ser consideradas como hábiles para el desarrollo expansionista urbano de mencionado cantón y de esta manera proteger a la población del sector. Por tanto el beneficio estará enfocado específicamente a áreas de gobierno como son la de medio ambiente, gobiernos provinciales, seguridad y defensa, agricultura y pesca; lo que permitirá tener un campo más amplio sobre los beneficios portuarios a nivel nacional y binacional, permitiendo además elevar el nivel del tránsito fluvial y marítimo en la zona.

Así mismo, este tipo de estudio facilitará a determinar el creciente impacto ambiente que se ha generado por la tala indiscriminada de manglares y áreas de bosque, así como también se podrá hacer una prospectiva sobre las capacidades portuarias actuales y futuras para el desarrollo de la población civil.

La investigación es de novedad científica y radica en orientar a las instituciones de gobierno a identificar zonas de riesgo y en la parte privada en conocer a fondo las facilidades portuarias y de navegación que existen en ese sector del Ecuador.

Como investigador me he propuesto participar en forma activa, para lo cual dispongo del tiempo necesario, la asesoría pertinente, los recursos humanos, técnicos, materiales y financieros para su ejecución; pero sobre todo estoy motivado intrínseca y extrínsecamente para realizar la investigación. Aspiro que este aporte sirva de fuente de consulta no solamente para las entidades de gobierno, sino también para el área científica en todos sus niveles y a todas las personas comprometidas con el progreso del cantón San Lorenzo.

F. OBJETIVOS

1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la incidencia de las áreas de sedimentación sobre las líneas de costa actuales del cantón San Lorenzo y su repercusión en el ámbito pesquero, mercante y de seguridad a la navegación.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la importancia de la actualización de las líneas de costa en las cartas náuticas que se desarrollen a futuro por parte del Instituto Oceanográfico de la Armada.
- Precisar las zonas más peligrosas del canal de San Lorenzo e implementar un sistema de difusión masiva sobre estos peligros.

- Determinar el grado de relación entre la proyección portuaria y el tráfico fluvial hacia este cantón, con la identificación de las zonas de peligro para la navegación.

G. HIPÓTESIS

El fenómeno mareografico del movimiento de las masas de agua en el canal de San Lorenzo, influye en el traslado de grandes cantidades de sedimentación que modifican las líneas de costa del perfil fluvial, tornándose un problema en la seguridad de la navegación así como en el desarrollo de las actividades fluviales mercantes y pesqueras de la comunidad, este fenómeno se hace posible debido a la construcción de muelles o puentes, o por la simple incrustación de elementos artificiales al pie de las revieras de los cursos naturales de agua.

H. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Con el objetivo de comprobar que los agentes artificiales construidos por el hombre, y que han sido ubicados al pie de las orillas del canal de acceso al Cantón San Lorenzo, lo cual afecta el curso normal de las masas de agua por esta ruta fluvial; con la consecuencia evidente de la presencia de sedimentos acumulados, que hacen posible la modificación de las líneas de costa, se ha establecido tres preguntas fundamentales que soportan la comprobación de la hipótesis planteada en esta tesis, y que tiene como fundamento el análisis de la problemática planteada.

Con lo antes detallado, procedemos a formular las siguientes preguntas, que sin duda serán la guía para poder obtener los resultados deseados y que se alinean a la hipótesis planteada, para lo cual tenemos lo siguiente:

1. ¿La carta topográfica CT- ÑI-E1 y las cartas náuticas IOA 100, IOA 1003, poseen hitos definidos en los puntos sobresalientes del área de estudio

que permitan identificar con exactitud la posición de los accidentes artificiales?

2. ¿Las áreas de sedimentación son representadas con exactitud en las cartas náuticas IOA 100, IOA 1003?
3. ¿A qué se debe la proyección de la línea de costa por efecto de la sedimentación en la representación gráfica de las cartas náuticas IOA 100, IOA 1003?

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A. MARÍTIMOS COSTEROS

El Puerto de San Lorenzo se encuentra ubicado en el interior del Canal de Bolívar, aproximadamente a 3m., de altura sobre el nivel del mar.

Es un puerto netamente pesquero y maderero que tiene fácil acceso con el Puerto Comercial de Esmeraldas y demás poblaciones de la sierra.

El puerto está conformado por un muelle de aproximadamente 70 m. de largo construido de madera y metal y de forma ovalada debido al canal y a su profundidad el cual facilita las faenas artesanales pesqueras; las profundidades promedios son de 5 m.²



Fig. 2 Vista Canal de Acceso al Puerto San Lorenzo

Fuente: Derrotero de las Costas del Ecuador – instituto Oceanográfico de la Armada. Año 2005

² Derrotero de la Costa Continental e Insular del Ecuador – 2005; pág. 36

1. LINEA DE COSTA

La línea de costa es la línea en la superficie de la Tierra que define el límite entre el mar y la tierra firme. Históricamente ha sido uno de los principales elementos registrados por la Cartografía, debido al límite que la línea de costa ha representado para el desarrollo de las actividades humanas.

Es también el límite incierto entre el mar y los ríos en las desembocaduras: el límite entre un río y el mar es incierto, por ejemplo, en estuarios o en deltas, donde tanto la profundidad del lecho del río como la composición de sus aguas son muy variables y se mezclan gradualmente en una región muy amplia.

2. PROFUNDIDADES Y VERILES

Las profundidades son regulares y el veril de los 10m., está en el área de la boya de mar continuando con profundidades de 7 m., 5 m. y 4 m. hasta llegar al muelle principal de la población.

3. ENSENADAS

Una ensenada es un accidente geográfico costero. Las ciencias de la Tierra generalmente utilizan este término para describir una entrada de agua circular o redondeada con una boca estrecha. Aunque coloquialmente el término se usa para referirse a cualquier bahía abrigada, los geógrafos entienden que la ensenada es una entrada de agua de menor dimensión que una bahía.

4. CLIMA

Se caracteriza a la región con un clima muy húmedo tropical. Existe un marcado período de lluvias de diciembre a junio. Los meses con menor pluviosidad son de julio a noviembre.

En algunos sectores la pluviosidad bordea los 3.000 mm por año y en el territorio Awá se registra hasta 4.000 mm año. Los registros mínimos van de 2000 a 2500 mm. Anuales hacia la zona costera. El INAMHI registró

promedios de temperatura de 25.5 C y una pluviosidad media anual de 2.314 mm. El atlas climatológico sitúa la humedad relativa que bordea el 82%, la evaporación hasta 500 mm, la nubosidad promedio 718 y la velocidad del viento promedia 0,4 ml/seg.

5. MAREAS VIVAS O DE SICIGIA (Garro, 2012)

Cuando la posición de los tres astros, sol, luna, tierra se encuentran sobre una misma línea se suman las fuerzas de atracción de la luna y el sol, por lo que se producen las pleamares de mayor valor y en consecuencia las bajamares son más bajas que las promedio.

Cuando la luna se encuentra entre la tierra y el sol se la denomina de conjunción (luna nueva) y cuando la tierra se encuentra entre la luna y el sol se la llama de oposición (luna llena).

Dentro de las mareas de sicigia hay dos con valores máximos y son las que se producen en los equinoccios de otoño y primavera, o sea cuando el sol y la luna se encuentran sobre el Ecuador.

A mayor amplitud de marea (diferencia entre pleamar y bajamar) corresponden mayores corrientes por el volumen de agua a trasladarse en el mismo tiempo.

6. FASES DE LA PLEAMAR MÁS ALTA DE SICIGIA

Las fases de la más alta pleamar de sicigia, se presentan en el calendario de aguajes, en donde se han plasmado el resultado del estudio estadístico de la variación de la marea en una zona geográfica.

El fenómeno natural de plea y baja mar que se presentan en los perfiles costaneros de todo el mundo se debe a factores naturales que son regidos por los movimientos que realiza la tierra.

Son estos movimientos los que generan que la tierra por su aproximación a la luna, se produzcan los movimientos de las masas de agua.

La Tierra en su viaje a través del espacio posee varios movimientos (casi 18 descritos) que provienen de las interacciones gravitacionales y de su forma. Existen sin embargo algunos de estos que son más importantes debido a que son más evidentes y en su desarrollo imponen ciclos que son mucho más perceptibles.

- Rotación
- Traslación
- Precesión
- Nutación

a. Rotación

Este movimiento se realiza alrededor del eje de la tierra y es el que produce los cambios más evidentes: El día y la noche y el movimiento aparente de la esfera celeste

b. Traslación

Es el movimiento de la Tierra alrededor del sol siguiendo en cumplimiento de las [leyes de Kepler](#) una órbita elíptica. Si se toma como referencia la posición de una estrella la tierra cumple una vuelta en un **año sidéreo** que es de 365 días, 6 horas, 9 minutos y 10 segundos.

c. Precesión

Debido a que la tierra no es una esfera perfecta sino que se encuentra ensanchada en el ecuador y achatada en los polos presenta un cabeceo similar al de un trombo cuando pierde velocidad a este movimiento se le denomina Precesión.

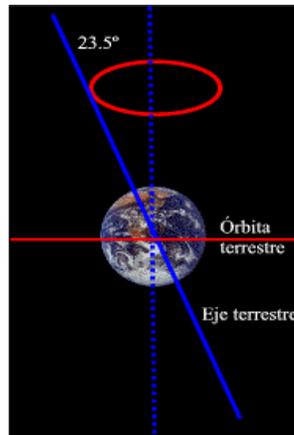


Fig. 3 Representación Movimiento de Precesión

d. Nutación

Este movimiento es poco perceptible y es un vaivén del eje de la tierra superpuesto a la precesión. Este movimiento esta ocasionado por la interacción gravitacional con la Luna. En este movimiento la eje de la tierra haciendo un bucle de 18 segundos de arco en la línea de precesión cada uno de los cuales dura 18.6 años.

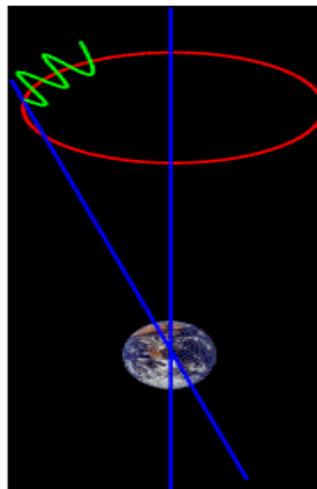


Fig. 4 Representación Movimiento de Nutación

7. PLEAMAR Y BAJAMAR DE SICIGIA (MAREA)

La marea es el cambio periódico del nivel del mar, producido principalmente por las fuerzas gravitacionales que ejercen la Luna y el Sol.

Otros fenómenos ocasionales, como los vientos, las lluvias, el desborde de ríos y los tsunamis provocan variaciones del nivel del mar, pero no pueden ser calificados de mareas.

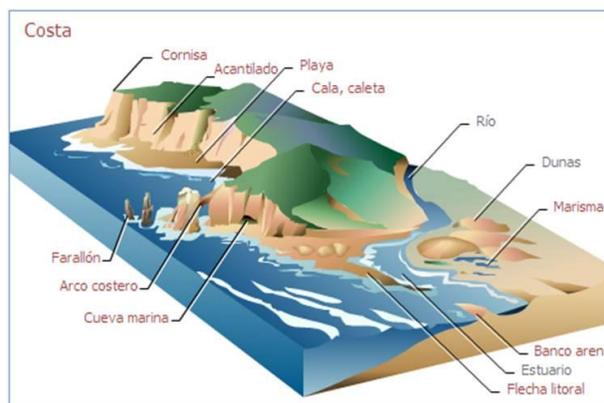


Fig. 5 Representación Gráfica Pleamar y Bajamar de Sicigia

a. Bajamar

Cuando ocurre el fenómeno natural de bajamar, hay que tomar en consideración que este condicionante erosiona la tierra, por lo que el terreno se torna más susceptible a la fuerza de la naturaleza, lo cual ocasiona modificaciones impredecibles de áreas donde existan construcciones o instalaciones que faciliten el comercio marítimo o fluvial.

b. Pleamar

Cuando ocurre el fenómeno natural de pleamar, el hecho del ascenso de las aguas sobre las playas, acantilados o cornisas, nos permite conocer de primera mano, si el choque de las masas de agua provocará un impacto mayor a lo ocurrido en los años anteriores. Sin duda, el registro estadístico

y la medición de la altura del agua sobre la tierra, nos permitirá determinar el impacto ambiental que se genera en la zona, así como también nos permitirá actualizar las líneas base territoriales, lo que ayudaría a conocer con qué frecuencia el mar gana espacio sobre la tierra, y por lo tanto actualizar los límites territoriales del Ecuador en cuanto a este sector que es limítrofe con Colombia.

8. CORRIENTES DE MAREA

Como se ha dicho, la variación de nivel del mar sobre la plataforma continental exige un movimiento alternativo del agua hacia la costa y hacia el mar. Como la profundidad del agua no es la misma cuando la marea sube que cuando baja, la forma de los obstáculos no es la misma, y la dirección y la velocidad de la corriente tampoco es la misma. El vector velocidad dibuja una especie de elipsoide cuyo eje mayor es más o menos paralelo a la costa.

En sitios donde las mareas tienen gran amplitud, las velocidades del mar también pueden ser muy grandes. Por ejemplo, en el Canal de la Mancha, en el Raz de Sein (en el extremo oeste de Bretaña, en Francia) y en el Raz Blanchard (al norte de la península del Cotentín, también en Francia), la corriente sobrepasa los 10 nudos (18 km/h) durante las grandes mareas. En el estrecho de Mesina, la corriente puede llegar a 5 nudos.



Fig. 6 Representación Fuerza de Atracción Asociada a la Orbita

9. MAREAS TERRESTRES

Las fuerzas de gravedad que provocan las mareas de los océanos también deforman la corteza terrestre. La deformación es importante y la amplitud de la marea terrestre llega a unos 25 a 30 cm en sizigia y casi 50 cm durante los equinoccios.

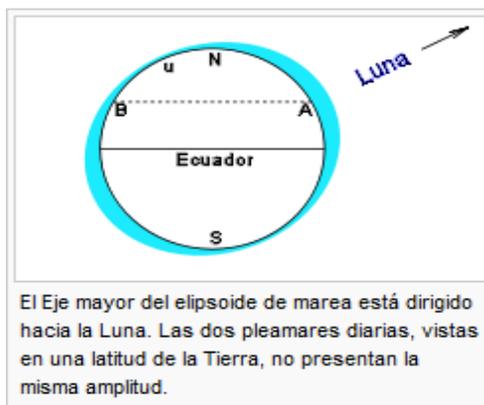


Fig. 7 Representación Amplitud de Marea

10. OTRAS CAUSAS DE VARIACIÓN

Varios factores adicionales también contribuyen a la amplitud de la marea:

- Tanto la trayectoria de la Tierra alrededor del Sol, como la de la Luna alrededor de la Tierra, no son círculos sino elipses. Cuando la Tierra está más cerca del Sol (perihelio), las mareas son más intensas. De la misma manera, cuando la Luna está en su perigeo, las mareas son también más grandes. La influencia del perigeo o apogeo de la Luna es de $\pm 20\%$ con respecto a la marea media.
- Las mareas más grandes ocurren en sizigia, es decir cuando el Sol la Tierra y la Luna están alineados.
- El mejor alineamiento del Sol, la Luna y la Tierra ocurre cuando la Luna atraviesa la eclíptica entre la Tierra y el Sol o, lo que es lo mismo,

cuando el Sol está en el nudo lunar. En esa situación, las fuerzas de atracción del Sol y la Luna están perfectamente alineadas.

- d. Cuando el Sol está en el plano ecuatorial, las dos mareas diarias son iguales y máximas. Eso ocurre en los equinoccios.

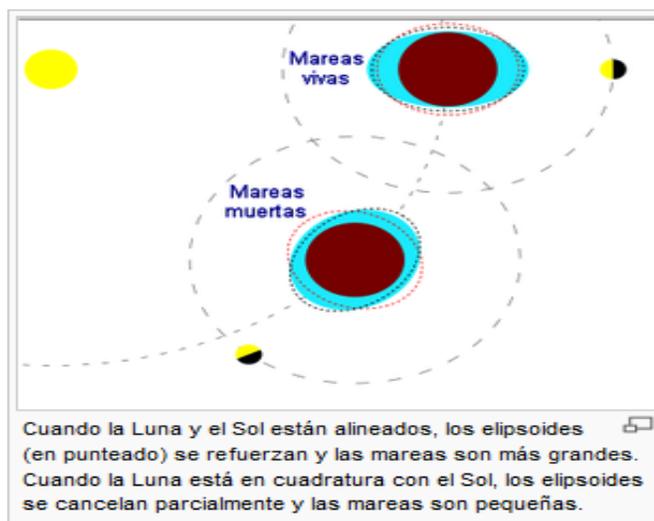


Fig. 8 Representación Mareas en los Equinoccios

11. CONDICIONES METEOROLÓGICAS

El estudio que comprende a todos los fenómenos atmosféricos y de los mecanismos que producen el tiempo, orientado a su predicción. Del griego, meteoros (alto), logos (tratado).

Los fenómenos atmosféricos o meteoros pueden ser:

- Aéreos, como el viento, acuosos, como la lluvia, la nieve y el granizo, luminosos, como la aurora polar o el arco iris y eléctricos, como el rayo.
- La presión, la temperatura y la humedad son los factores climáticos fundamentales en el estudio y predicción del tiempo. La temperatura, sometida a numerosas oscilaciones, se halla condicionada por la latitud y por la altura sobre el nivel del mar.

- c. La presión atmosférica, variable también en el transcurso del día, es registrada en los mapas meteorológicos mediante el trazado de las isobaras o puntos de igual presión, que permiten identificar los centros de baja presión o borrascas, cuya evolución determina en gran parte el tiempo reinante.

La meteorología utiliza instrumentos esenciales, como el barómetro, el termómetro y el higrómetro, para determinar los valores absolutos, medios y extremos de los factores climáticos. Para el trazado de mapas y la elaboración de predicciones es fundamental la recogida coordinada de datos en amplias zonas, lo que se realiza con la ayuda de los satélites meteorológicos.

12. ELEMENTO METEOROLÓGICO

Se define como aquella variable atmosférica o fenómeno (temperatura del aire, presión, viento, humedad, tormentas, nieblas, ciclones o anticiclones, etc.) que caracteriza el estado del tiempo en un lugar específico y en un tiempo dado.

13. CORRIENTES FRENTE A LAS COSTAS DEL ECUADOR

El sistema de corrientes en aguas de Ecuador consiste en dos flujos hacia el oeste que son: la Corriente Ecuatorial del Norte y la corriente Ecuatorial del Sur; y un flujo hacia el Este ubicado entre las dos corrientes anteriores que es la contracorriente Ecuatorial del norte, sin embargo frente a las costas del Ecuador, se tiene la influencia directa de la corriente Ecuatorial del Sur y debemos incluir a la corriente de Humboldt que baña la costa occidental de América del sur, la corriente el Niño proveniente del norte, de las costas de Panamá y a la Subcorriente Ecuatorial Corriente de Cronwell

- a. Corriente Surecuatorial: La corriente ecuatorial del sur se mueve hacia el oeste a ambos lados del ecuador, su límite hacia el norte es con la contracorriente ecuatorial. Las mayores velocidades son encontradas cerca del Ecuador con una magnitud de 0.5 m/s.
- b. Corriente del Niño: La corriente del Niño, debe su nombre en alusión al niño Jesús, debido a que normalmente esta corriente comienza a manifestarse en las proximidades de la Navidad, se caracteriza por ser de aguas cálidas y aparece entre los meses de diciembre a abril. Esta corriente provoca el aumento de la temperatura superficial del mar y sus meses de mayor intensidad son de febrero y marzo, posee un flujo estrecho costero de norte a sur y proviene de la cuenca de Panamá, baja hasta las costas ecuatorianas y peruanas calentando el agua del mar, provocando la mortalidad del plancton. Las aguas de esta corriente son pobres en nutrientes, por lo que durante su estadía en nuestras costas la pesca se ve notablemente disminuida.
- c. Corriente de Humboldt: se relaciona con un sistema de corrientes más complejo, dentro de éste se distinguen distintos componentes: la corriente costera que se mueve muy cerca de la costa, la corriente oceánica más alejada y la Contracorriente del Perú.
- d. Corriente Oceánica de Humboldt.- presenta una estructura menos compleja que la rama costera. Su influencia se extiende más profundamente alcanzando un espesor de 600 m. y transporta hacia el norte aguas frías y de baja salinidad.
- e. Contracorriente del Perú.- se desplaza entre las ramas costeras y oceánicas de Humboldt en sentido opuesto, de norte a sur. Es más cálida y más salina.
- f. Corriente Costera de Humboldt.- Fluye en dirección Nor Oeste, bordeando las costas de Perú, y continúa subiendo hasta llegar a costas ecuatorianas, para luego unirse al sistema de la Corriente ecuatorial del sur. La corriente costera de Humboldt, conocida también

como la Corriente del Perú, se caracteriza por sus aguas frías, se presenta en nuestras costas entre los meses de mayo a noviembre.

Esta corriente marca el inicio del cambio de estación en el Ecuador, ya que cuando sus aguas llegan a las costas ecuatorianas se produce una disminución en la temperatura superficial del mar y del aire.

La corriente de Humboldt es muy favorable para la pesca ya que sus aguas son ricas en nutrientes debido a su alta salinidad. Los meses de mayor intensidad de esta corriente son entre julio y septiembre y poco a poco ésta va debilitándose hasta desaparecer por completo en el mes de diciembre, época en la que aparece la llamada corriente de El Niño con características totalmente contrarias a las de la corriente de Humboldt.

- g. Subcorriente Ecuatorial : Es llamada también Corriente de Cromwell, es una característica muy importante en la circulación oceánica ecuatorial, que forma parte del Sistema de Corrientes en el Pacífico Oriental, fue descubierta en 1952, actualmente su presencia ha sido establecida a lo largo de toda la faja ecuatorial en el Océano Pacífico.

La Subcorriente Ecuatorial es una corriente subsuperficial que fluye hacia el E. a lo largo del pacífico ecuatorial, es simétrica cerca del ecuador, tiene un espesor de unos 300 m. y un ancho de 400 Km.; el núcleo de esta corriente se encuentra centrado entre los 50 y los 150 m. de profundidad y alcanza velocidades aproximadas de 1.5 m/s.

Este flujo al llegar a las Islas Galápagos se debilita y se bifurca en dos ramales: uno al norte y otro al sur de las Islas, el ramal sur se dirige hacia el sudeste alimentando los afloramientos que tienen lugar a lo largo de la costa norte de Perú.³

³ Información tomada del Derrotero de las Costas Ecuatorianas INOCAR 2005.



Fig. 9 Representación Gráfica de las Corrientes frente a las Costas del Ecuador.

B. GEOLOGIA Y GEOFISICA MARINA DEL ECUADOR

Los estudios científicos llevados a cabo desde hace casi 40 años sobre los fondos submarinos, las islas oceánicas y los márgenes continentales del Ecuador han puesto de manifiesto la extraordinaria riqueza geológica de la región.

Es de destacar que se encuentran la mayoría de elementos estructurales representativos de los procesos fundamentales que gobiernan la evolución geodinámica a escala planetaria. Así, la dorsal de Cocos-Nazca es el lugar donde se originan y separan las placas tectónicas de Nazca y Cocos a una velocidad de unos **6 cm/año**. El « punto caliente » de Galápagos alimenta los volcanes de las Islas Galápagos, siendo responsable de la edificación no sólo del Archipiélago actual, sino también de las **cordilleras submarinas de Carnegie, Cocos, Malpelo y Coiba** a través de su interacción con la dorsal de Cocos-Nazca. Finalmente, la zona de subducción del Ecuador, que acomoda la convergencia este-oeste entre la placa de Nazca y el continente Sudamericano a **5.5-5.8 cm/año**, ha propiciado la construcción de los altos relieves andinos y la mundialmente célebre « avenida de los volcanes », pero, desgraciadamente, también es la causa de las numerosas erupciones, sismos,

y tsunamis devastadores que han azotado periódicamente la historia de este país.⁴ (CPCB-SU Nelson Pazmiño, 2009)

1. GEOFISICA

La geofísica es la ciencia que se encarga del estudio de la Tierra desde el punto de vista de la física. Su objeto de estudio abarca todos los fenómenos relacionados con la estructura, condiciones físicas e historia evolutiva de la Tierra. Al ser una disciplina experimental, usa para su estudio métodos cuantitativos físicos como la física de reflexión y refracción de ondas mecánicas, y una serie de métodos basados en la medida de la gravedad, de campos electromagnéticos, magnéticos o eléctricos y de fenómenos radiactivos. En algunos casos dichos métodos aprovechan campos o fenómenos naturales (gravedad, magnetismo terrestre, mareas, terremotos, tsunamis, etc.) y en otros son inducidos por el hombre (campos eléctricos y fenómenos sísmicos).

2. SISMOLOGÍA

La sismología es una rama de la geofísica que se encarga del estudio de terremotos y la propagación de las ondas mecánicas (sísmicas) que se generan en el interior y la superficie de la Tierra.

Sus principales objetivos son:

- a. El estudio de la propagación de las ondas sísmicas por el interior de la Tierra a fin de conocer su estructura interna;
- b. El estudio de las causas que dan origen a los temblores;
- c. La prevención de daño.

La sismología incluye, entre otros fenómenos, el estudio de maremotos y marejadas asociadas (tsunamis) y vibraciones previas a erupciones volcánicas. En general los terremotos se originan en los límites de placas

⁴ Geología y Geofísica Marina Y Terrestre del Ecuador, Pse-001-2009

tectónicas y son producto de la acumulación de tensiones por interacciones entre dos o más placas.

La interpretación de los sismogramas que se registran al paso de las ondas sísmicas permite estudiar el interior de la tierra.

3. BATIMETRÍA

Es el equivalente submarino de la altimetría. En otras palabras, la batimetría es el estudio de la profundidad marina, de la tercera dimensión de los fondos lacustres o marinos. Un mapa o carta batimétrica normalmente muestra el relieve del fondo o terreno como isógramas, y puede también dar información adicional de navegación en superficie.

4. GRAVIMETRÍA.

La gravimetría consiste en la medición del campo de gravedad. Se suele emplear cuando el objeto de estudio es el campo de gravedad o las variaciones de densidad responsables de su variación.

CAPITULO II

I. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.

El presente desarrollo de tesis, fue elaborado y adaptado bajo los lineamientos de la normativa y estructura de los procesos de investigación científica aprobada para trabajos de investigación científica de la Escuela Postgrados de la Universidad San Francisco de Quito (USFQ), el cual sirvió como guía para estructurar el presente trabajo. Sin duda esta adaptación fue seguida por el autor de la presente tesis, en razón de encontrar en esta herramienta doctrinaria, la estructura de elaboración formal y de comprensión didáctica para un mejor entendimiento en la demostración de la solución en cuanto a la formulación del problema planteado, ya que, se puede realizar un objetivo análisis del problema planteado, así como de los datos recopilados y del producto desarrollado.

A. MÉTODOS Y TÉCNICAS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN.

El desarrollo del presente trabajo parte de un nivel de investigación descriptiva, donde hacemos uso de datos recopilados por parte del INOCAR sobre, mareas, profundidades, veriles e informe de impacto ambiental en la zona del muelle del Cantón San Lorenzo, así mismo empleamos un tipo de investigación de campo y bibliográfica a partir del estudio de ciertos informes provistos por el INOCAR, sobre corrientes fluviales, transporte de sedimentos y mareas; también podemos mencionar sobre una visita de campo para identificar visualmente la aglomeración de los sedimentos y su extensión desmedida hacia la zona fluvial transitable.

1. MÉTODO CIENTÍFICO

Para el desarrollo explicativo de este trabajo de investigación (Tesis), tenemos que partir enunciando que la forma de investigación aplicada es un método

dogmático, ya que se basa en leyes deducidas por el hombre y no en principios supuestamente revelados. Sus leyes son siempre rechazadas si los hechos contradicen lo que se afirma, por tanto, el método científico nos ayudará a construir relaciones entre variables y no partir de certezas absolutas.

De la aplicación del método científico, podremos decir que se puede obtener leyes que constituyen una manera de proyectar un futuro alcanzable e ideal.

Sin duda para en el establecimiento del proceso investigativo, debemos mencionar que empleamos el método deductivo en cuanto a identificar la problemática antes descrita y por ende encontrar una proyección de ayuda en cuanto a resolver y/o eludir los efectos del cambio en las líneas de costa del Cantón San Lorenzo, dentro de sus expectativas de crecimiento, social, económico, ambiental y de transporte.

2. MÉTODO DEDUCTIVO.

Para el presente estudio, debemos mencionar que debido a la problemática encontrada en el canal de acceso al Canto San Lorenzo, y de acuerdo a la información obtenida en cuanto a datos de impacto ambiental facilitados por el INOCAR, así como de observación científica realizada por el suscrito durante el año 2011, podemos indicar que el método a aplicar será el deductivo, puesto que partiremos de la afectación general en la cual se ven interferidos los procesos urbanos, comerciales, sociales y de transporte hacia la identificación particular de lo que generó el cambio en las líneas de costa de mencionado cantón, de esta manera, podremos proyectar el nivel de cambio en líneas de costa y su impacto en las rutas comerciales fluviales que emplean este medio de comunicación.

B. TÉCNICAS

La técnica que se empleará para la identificación del área peligrosa o susceptible de cambio para actividades urbanísticas y/o de transporte, estará

determinada bajo el empleo del software ARCGIS 9.3 conjuntamente con datos recolectados por el INOCAR mediante sus instrumentos de precisión.

Debemos mencionar que el empleo del software ARCGIS para el respectivo modelamiento será explotado al máximo; para lo cual emplearemos las herramientas de Análisis Espacial, para poder proyectar en área afectada y de esta manera entregar una carta con la ubicación geográfica de las nuevas líneas de costa de la zona.

Adicionalmente debemos mencionar, que recurrimos a la observación científica y toma de posiciones geográficas, donde se identifica claramente el área geográfica afectada y sus posibles incidencias en ámbito urbano y de transporte.

II. CONSTRUCCIÓN METODOLÓGICA DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

Para la elaboración de la metodología de la investigación, vamos a partir con el análisis del Informe Técnico de Impacto Ambiental al Canal de Acceso al Puerto de San Lorenzo realizado por el INOCAR en el año 2005, donde podremos identificar cuales han sido durante varios años la causa de la modificación de las líneas de costa del acceso fluvial a mencionado cantón, así

como también realizaremos un estudio de la carta de navegación IOA 100⁵, la cual consta ya con información valiosa en cuanto a veriles de profundidad y demás datos para la seguridad de la navegación en el canal.

Posterior a este análisis, procederemos a identificar los datos cartográficos relevantes en cuanto a la estadística de ocurrencia de mareas de los últimos 10

⁵ Documento provisto por el Instituto Oceanográfico de la Armada en el año 2012, la cual se encuentra en fase de corrección de veriles de profundidad, pero el 85% de la información ahí encontrada es de utilidad y confianza. Estos datos fueron provistos en virtud de la solicitud realizada por el suscrito, la cual fue contestada de forma favorable por la autoridad competente como un aporte didáctico para la consecución del título de Magister.

años, así como del sondeo de profundidad de la zona y de la verificación de la teoría de transporte de sedimentos⁶, previa la modelación en el software cartográfico ARGIS.

Adicionalmente debemos mencionar que se debe realizar cierto análisis a los datos obtenidos de profundidad antes de ser procesados en el software para poder tener de esta manera un resultado concreto y más apegado a la realidad.

Una vez que se hagan las correcciones correspondientes a los datos de profundidad y veriles, debemos iniciar con la modelación de la zona de estudio con el software ARCGIS; para lo cual deberemos establecer el Datum, la corrección de las coordenadas UTM y su proyección en el hemisferio Sur, así como la depuración de la zona de estudio y sus marcas más relevantes en cuanto a la alteración de las líneas de costa.

El objeto de esta investigación, se centrará en reconocer, identificar y delinear el cambio de la línea de costa comprendida entre los muelles artesanales y militar del cantón San Lorenzo, donde existe la mayor acumulación de sedimentos, y por lo tanto esta conformación en masa de varios materiales, puede presentar un riesgo para la navegación como del crecimiento urbano en la zona; cabe señalar que este estudio no se focalizará ni realizará comparación o identificación alguna del tipo de sedimentos que se encuentran en el área de estudio. Por otra parte se hará mención al efecto de la corriente que provoca este fenómeno una vez que se ha identificado que el efecto mareográfico es un factor astronómico cíclico y continuo, que no ha variado con el tiempo y ha sido más bien la herramienta que permitió al investigador a determinar su importancia en cuanto al movimiento de los sólidos en suspensión y no en su traslado.

⁶ Los sedimentos que transporta una corriente de agua son consecuencia natural de la degradación del suelo, puesto que el material procedente de la erosión llega a las corrientes a través de tributarios menores, por la capacidad que tiene la corriente de agua para transportar sólidos, también por movimientos en masa, o sea, desprendimientos, deslizamientos y otros.

A. MARCO TEÓRICO

El área de estudio es el Estero San Lorenzo ubicado al frente de la población que lleva el mismo nombre, en la Provincia de Esmeraldas, al norte del país. Las profundidades son regulares y el veril de los 10m. está en el área de la boya de mar continuando con profundidades de 7 m., 5 m. y 4 m. hasta llegar al muelle principal de la población.

Hasta el veril de los 10 m. la gradiente promedio es de 2.2% el fondo de todo este canal es arenoso fangoso.

Debido al tipo de fondo y al extenso manglar que circunda ambos lados del canal de acceso hasta llegar a la zona urbana, sumada el alto índice de deforestación de la zona, su clima húmedo tropical y a la indiscriminada pesca de concha negra y cangrejo, se puede advertir que existe un nivel alto de movimiento de sedimentos a través de la ruta fluvial por efectos de la corriente del canal, provocando de esta manera una aglomeración de sedimentos en el área comprendida entre el muelle municipal (Artesanal) y el muelle militar, donde ya existe un límite urbano que tiende a crecer más allá de las líneas de costa ya establecidas, debido a la sedimentación que se acumula entre ambos muelles.

El área de estudio está considerada como una llanura fluvio-marina, es decir, corresponde a una zona plana cercana al mar, colonizada por depósitos aluviales recientes y actuales; en ésta, las desembocaduras de los ríos Cayapas, Los Atajos, Tambillo, San Antonio y Mataje principalmente, han sido obstruidas por varias islas cuya altura varía entre 1 y 3 metros, separadas por un sinnúmero de canales marinos sinuosos. En esta llanura se presentan tres zonas bien diferenciadas: la primera corresponde a los cordones litorales, que son bancos de arena de grandes dimensiones que se hallan distribuidos por todo el área de estudio, pero principalmente al oeste de Borbón y sur de La

Tola, formando franjas bien definidas rodeadas generalmente por manglares; la segunda zona presenta depresiones pantanosas, que son unidades cerradas y bajas con respecto a los manglares que los circundan, en general se encuentran en la parte central de las islas; y la tercera zona corresponde a las áreas cubiertas por manglares, que ocupan la mayor parte de la Reserva y están sujetas a la influencia de las mareas.

Como parte de la actividad natural que se presenta en el flujo fluvial del canal, se considera parcialmente el estudio del oleaje, el cual se encarga de producir la transmisión sin desplazamiento de vibraciones moleculares que participan tanto del movimiento ondulatorio longitudinal como del transversal, y tienen las características principales explicables con la teoría trocoidal de Gerstner modificada y movimiento orbital cercana al concebido por Stokes y desarrollada por Levi-Civita.

Con el empleo de los Sistemas de Información Geográfica se va a poder identificar la magnitud del crecimiento de las formaciones de sedimentos que tienden a cambiar la naturaleza de línea de costa y por lo tanto ser una zonificación tendiente a generar un peligro indirecto en la navegación fluvial y en los proyectos de delimitación y/o expansión urbana en la zona.

CAPITULO III

I. DESCRIPCIÓN Y RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

A. INFORMACIÓN OBTENIDA

El presente estudio da inicio con la ayuda de datos de mareas, profundidades, veriles y de impacto ambiental del área del puerto de San Lorenzo, proporcionados por el INOCAR, así como también de datos obtenidos de la tesis sobre “*Relación entre las oscilaciones del nivel del mar del océano pacífico y las variaciones del nivel del mar en la costa del Ecuador*”⁷ donde se puede verificar la calidad de la información procesada.

En el caso de nuestro estudio verificaremos la fuente la información de mareas y la ubicación de las estaciones mareograficas.



Fig. 10 Ubicación de las estaciones mareográficas y meteorológicas del INOCAR

⁷ Documento de Tesis elaborada por la Oceanógrafa Zeneida Elizabeth Wong Chang, presentada en año 2011 en la Escuela Superior Politécnica del Litoral. En este documento el autor, realiza un estudio profundo (CHANG, 2011) sobre las oscilaciones medias y corrientes que se presentan en el océano Pacífico y su afectación en las costas continentales del Ecuador. Entrega datos precisos de sedimentación y valoración exacta de los datos recopilados.

Por otro lado y según el autor de mencionada tesis, podemos verificar los datos recolectados, enfocándonos únicamente a los datos válidos de mareas en un periodo de veinte años (20), para lo que en el sector de Esmeraldas tenemos un 85,9% de datos válidos.

Una vez que hemos recibido datos de mareas del sector de San Lorenzo, por parte del INOCAR, podremos decir que de acuerdo al estudio presentado por la Oceanógrafa Zeneida Elizabeth Wong Chang, el porcentaje presentado por ella esta correcto y por ende son válidos, lo que nos ayuda con un aporte adicional a nuestro estudio.

Tabla I Datos de marea válidos sector de Esmeraldas.

Estación	Fecha Inicio	Fecha Fin	Datos válidos
Bahía	17/ene./80	29/sep./09	78.6 %
Baltra	01/nov./72	29/sep./09	61.6 %
Esmeraldas	02/sep./79	29/sep./09	85.9 %
La Libertad	24/oct./48	29/sep./09	93.4 %
Manta	01/ene./73	29/sep./09	72.7 %
Puerto Bolívar	01/ene./70	29/sep./09	83.1 %
Posorja	01/ene./84	29/sep./09	65.4 %
Puná	01/abr./80	29/sep./09	82.9 %

NOTA: las filas resaltadas corresponde a las estaciones con mayor porcentaje de datos válidos

Con los datos que el INOCAR, facilitó al suscrito correspondientes a las mareas de los últimos diez años del sector del puerto de San Lorenzo, podemos indicar con veracidad que, el efecto mareográfico al ser un fenómeno astronómico natural, no influencia directamente en el cambio de las líneas de costa, sino que es éste el instrumento necesario para que los sólidos en suspensión puedan desplazarse dentro de un área determinada.

Es así que, con los datos recopilados en el año 2011 se puede apreciar e indicar que la previsión de marea para ese lugar geográfico es de 2,03 metros, dentro de su variación de 116 componentes, que corresponden a los datos medidos de pleamar y bajamar de ese año.

Tabla II Previsión de Marea de San Lorenzo y su nivel medio 2011

PREVISION DE MAREA			
Año	2011		
Estación: SAN LORENZO			
LAT.: 1 18.0 N			
LONG.: 78 51.0 W			
Uso: 5 horas			
Nivel medio: 2.03 m			
No. de componentes: 116			

Con el fin de corroborar nuestra afirmación, realizamos una verificación con los datos del nivel medio del mar del 2000, obteniéndose el mismo valor, por lo que se deduce que el efecto de marea tanto de pleamar como bajamar, no incide en la modificación de líneas de costa, ya que debido a su amplitud este únicamente se encarga de desplazar los sólidos en suspensión y mas no es un factor erosionador del fondo y contorno marino.

Tabla III Previsión de Marea de San Lorenzo y su nivel medio 2000

PREVISION DE MAREA			
Año	2000		
Estación: SAN LORENZO			
LAT.: 1 18.0 N			
LONG.: 78 51.0 W			
Uso: 5 horas			
Nivel medio: 2.03 m			
No. de componentes: 116			

Es así que, con los datos de marea a Diciembre del año 2000, podemos graficar su dispersión y por lo tanto sacar algunas conclusiones sobre este

efecto natural entre las cuales podemos recalcar sobre lo dicho anteriormente, que la marea al ser un fenómeno astronómico natural, no influye en la erosión del fondo marino y mucho menos en el cambio de las líneas de costa del sector de estudio.

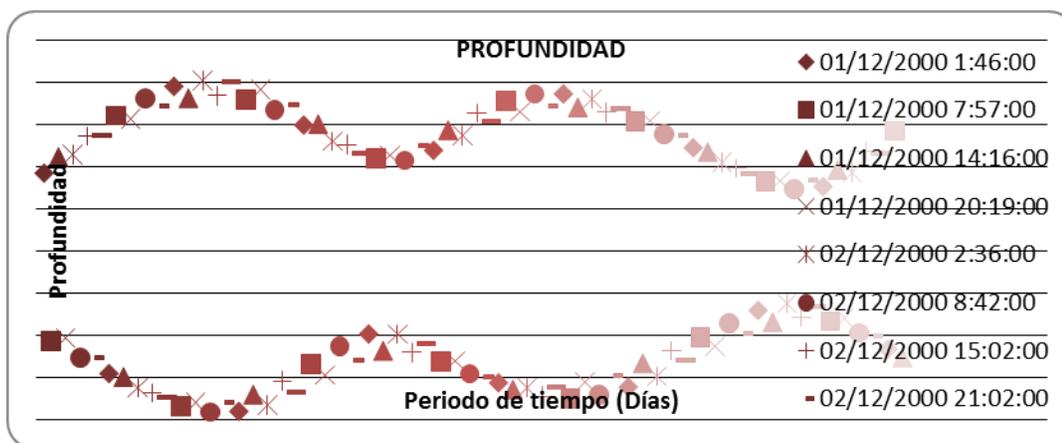


Fig. 11 Gráfico de Dispersión de datos de marea DIC/2000

Al verificar el gráfico de la Figura 11, podemos percibir que los datos mareográficos son relativamente uniformes, en cuanto a su pleamar y bajamar, lo que puede conllevar a pensar en que no existe tendencia de desviación del efecto natural de la marea sobre las líneas de costa, por lo tanto este síntoma no delata un factor negativo de cambio.

Si realizamos una prospectiva con datos proyectados a 10 años, podremos identificar que la tendencia no pretende superar los niveles de las mediciones antes adquiridas. Por lo que nuestra afirmación coadyuva a la identificación de ser las corrientes fluviales quienes se encargan de modificar las líneas de costa del sector de estudio.

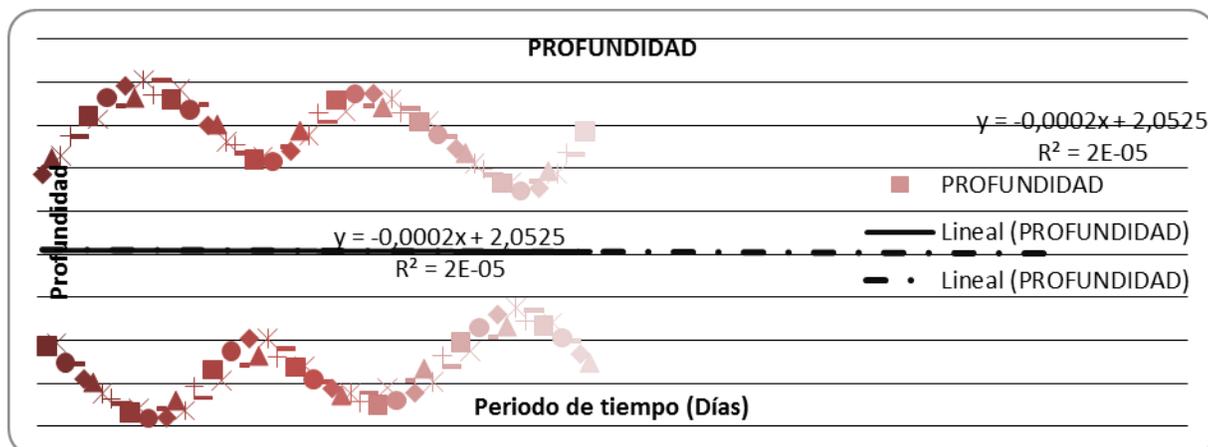


Fig. 12 Gráfico de Tendencia de marea DIC/2000 proyectada a DIC/2011

De acuerdo a la gráfica de la Fig. 12, podemos observar que la tendencia es uniforme con el transcurso del tiempo, lo que indica que no existirá una variación prolongada o abrupta por efecto de la marea, lo cual desprende la veracidad antes descrita.

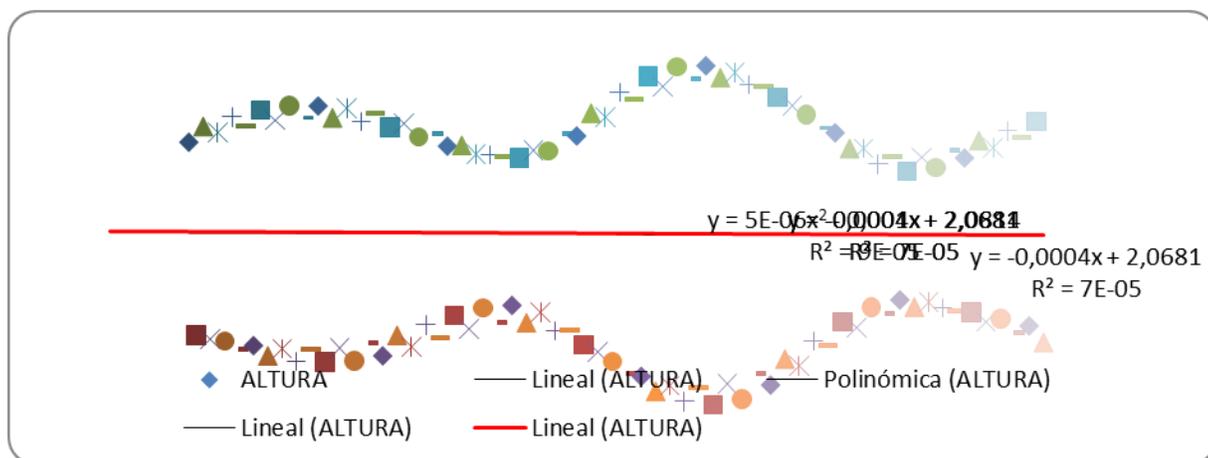


Fig. 13 Gráfico de Tendencia de marea DIC/2011 proyectada a DIC/2000

Con la comparación de la tendencia desde 2011 al año 2000, podemos determinar que las oscilaciones son estables y no representan un valor preponderante para la modificación de las líneas de costa.

Cabe destacar que la problemática del sector no se presenta por el efecto de la marea, sino por el flujo de corriente que permite la acumulación y/o desprendimiento de sedimentos del fondo fangoso del puerto marítimo del cantón San Lorenzo, lo que influye directamente en las líneas de costas y su modificación prolongada en tiempo y espacio para temas de acciones urbanísticas y de seguridad en la transportación marítima.

1. DINÁMICA DE LOS OCEANOS

La circulación oceánica es una función de la estructura de densidad de las masas de agua que forman las cuencas marinas, los flujos radiativos en la superficie, el forzamiento impuesto por la atmósfera en la superficie del mar (fuerzas hidrostáticas y la fuerza ejercida por el viento) y por las fuerzas astronómicas a través de la generación de mareas.

Las características físicas del océano global, en términos de su extensión y geometría son determinadas por fuerzas tectónicas que han conformado el fondo marino, que crean y consumen la corteza oceánica. En la zona profunda del mar, la batimetría está definida por cañones, cordilleras, cadenas de islas, montañas y abismos marinos. Estos tienen un papel importante en la hidrodinámica y deben ser considerados en cualquier estudio de circulación.

Las cuencas oceánicas se encuentran acotadas por las plataformas continentales, usualmente menores a 200 m de profundidad y de extensión variable (desde algunos kilómetros hasta cientos de kilómetros). Estas plataformas están asociadas con procesos geológicos de sedimentación. Debido a las bajas profundidades de las plataformas, la circulación está fuertemente dominada por los vientos y las mareas astronómicas; en la circulación de cuencas profundas son también vientos pero ahora junto a los gradientes de densidad los que tienen un papel preponderante. Estas diferencias entre regiones de aguas poco profundas y las cuencas marinas se traducen en características hidrodinámicas distintas. Es usual que estas

regiones sean estudiadas y modeladas por separado, incluso utilizando modelos oceánicos diferentes. La transición de las plataformas al océano abisal es, por lo general, muy abrupta y por lo tanto las pendientes tienen grandes magnitudes.

Esta es la principal dificultad de la modelación numérica en la actualidad y al mismo tiempo una de las áreas de estudio con mayor atención debido al interés en la extracción de hidrocarburos.

Las aguas costeras se extienden desde la línea de costa (incluyendo estuarios) hasta el borde de la superficie abisal de la cuenca oceánica adyacente, incluyendo la plataforma continental y la pendiente, y por lo tanto son afectados por una gran variedad de procesos. La principal característica de estas regiones es su baja profundidad que causa fuertes respuestas a los forzamientos externos. La atmósfera y la frontera con el mar profundo son los principales agentes de forzamiento externo. Los vientos (y en menor grado los gradientes de presión) producen fuertes cambios en la circulación, mientras que las mareas, las corrientes y las estructuras de *Eddys* en el océano profundo adyacente modifican la circulación a través de la pendiente. La contribución de agua dulce depositada en la costa por ríos y estuarios crea frentes de salinidad que afectan también la circulación.

Cambios drásticos en la temperatura del agua causados por la marcada diferencia estacional entre invierno y verano pueden también causar frentes termales en esta región. El depósito de sedimentos introducidos por los ríos y el transporte de sedimento como carga de fondo o en suspensión son procesos de gran importancia. Adicionalmente, la plataforma actúa como una guía para los flujos sub-inerciales generados fuera de ella. La circulación resultante de todos estos procesos es un grupo de flujos comprendidos en un amplio rango espacio - temporal de variabilidad.

La circulación en la plataforma continental está afectada por la rotación terrestre, la estratificación de densidad, la batimetría, el océano adyacente, las descargas de ríos y la presencia de la línea de costa. El parámetro más importante es la anchura de la plataforma -una característica geométrica-. Los flujos de marea tienden a incrementarse en lo ancho de la plataforma y la respuesta al forzamiento atmosférico es mayor.

Para conocer cuál o cuáles de los procesos hidrodinámicos son los dominantes en un mar costero es necesario conocer muchos factores, incluyendo la geometría, posición geográfica y la cuenca oceánica adyacente. Cada uno posee características únicas y la circulación resultante es consecuencia de estas peculiaridades. Aunque los aspectos generales de la circulación puedan ser descritos con relativa facilidad, solamente el esfuerzo de oceanógrafos locales a lo largo de años de estudio puede dar respuesta a la dinámica propia de la región de forma detallada.

Desde el punto de vista de la modelación, los mares costeros presentan retos particulares. La línea de costa es usualmente compleja y las variaciones en profundidad complican el trabajo de discretización horizontal. Las mallas no estructuradas (no ortogonales) pueden ser una solución a futuro, aunque aún no ha sido estudiada la fidelidad con que pueden representar procesos complejos como frentes y propagación de ondas. En los casos en los que es necesario incluir la pendiente continental y sus procesos asociados, la discretización vertical también se dificulta. La discretización empleada en modelos de nivel z requiere un gran número de capas para realizar simulaciones realistas, mientras que la naturaleza de la columna de agua hace que los modelos con coordenadas de isopícnas sean deficientes. La única opción restante es la de coordenadas conformales a la topografía y aun en este caso pueden existir errores generados en el cálculo de los gradientes de presión causados por la presencia de una topografía abrupta y la fuerte

estratificación inherente a la pendiente.⁸

Como se ha mencionado anteriormente, la oceanografía costera y la de océanos profundos han evolucionado por separado debido a dos motivos principales: los forzamientos externos tienen pesos relativos diferentes entre aguas profundas y someras, y la modelación conjunta de ambas regiones es complicada. La decisión de donde termina una y donde comienza la otra es guiada por el conocimiento específico de la región de estudio y la experiencia. Sin embargo esta separación implica a priori que la circulación en las plataformas continentales puede ser comprendida de manera aislada y que la interacción con el océano profundo puede ser adecuadamente representada por los modelos de océanos continentales. Todas las teorías de océanos con plataforma continental actuales implícitamente asumen esto. Consecuentemente el talón de Aquiles de los modelos costeros -ya sean analíticos o numéricos- es la frontera abierta que separa a la placa del océano profundo.

Para comprender mejor los principales procesos que ocurren en la circulación costera se han propuesto modelos de estudio que analizan cada uno de los fenómenos por separado, estos se pueden catalogar por modelos de surgencia costera, modelos de corrientes baroclínicas, modelos de corrientes barotrópicas, modelos de ondas atrapadas y modelos de mareas.

Por su importancia económica y ecológica, la surgencia es el fenómeno más estudiado e investigado en la oceanografía costera. Es un proceso inducido por el viento, asociado con una alta productividad biológica y climas fríos y

⁸ Información tomada de la Tesis que presentó el Master Leonardo Hernández Azcúnaga en el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, sobre el tema de la dinámica y transporte de sedimentos. En este documento el autor habla técnicamente de las causas que provocan la acumulación de los sedimentos en las líneas de costa, así como del fenómeno de la corriente superficial para el desplazamiento de sólidos.

brumosos. El incremento en productividad es causado por los nutrientes traídos a la superficie por la surgencia, el cambio en clima es inducido por la disminución de la temperatura oceánica. Es un flujo geofísico tridimensional en el que influyen las fuerzas hidrostáticas, la rotación y la estratificación. Las características propias de la estructura oceánica, excitada por un viento favorable a la surgencia, son isotermas con inclinación hacia la costa, una fuerte corriente de chorro costera y una posible corriente interna a lo largo de la costa. La evolución de este proceso incluye transporte barotrópico y el forzamiento de la circulación por gradientes de presión. En escalas de tiempo que van de meses a años pueden convertirse en ciclos de surgencia y subducción (Winant et al., 1987). Los modelos utilizados para estudiar el fenómeno de surgencia son en esencia de tres dimensiones.

Las variaciones en densidad aparecen en las aguas costeras por diferentes causas, descargas de ríos, calentamiento diferencial, evaporación y precipitación o simplemente por la advección de un cuerpo de agua más ligero o pesado. Los gradientes de densidad horizontales generados por estos procesos contienen implícitamente gradientes de presión y actúan como los controladores de la circulación termohalina. Una dificultad agregada es que los movimientos causados por el viento también pueden estar acompañados de gradientes de densidad horizontal debido al ajuste geostrofico del campo de presión, como sucede en los casos de surgencia costera, y no es fácil discernir entre los flujos causados por el viento y los causados por la circulación termohalina (Csanady, 1997). Sin importar su origen, una vez que los flujos controlados por la densidad alcanzan cierta magnitud (cuando las isopícnas están suficientemente inclinadas) pueden influenciar la circulación por medio de corrientes baroclínicas. Para determinar con precisión la estructura oceánica en estos casos, es necesario utilizar modelos tridimensionales.

Las fluctuaciones en el nivel del mar y las corrientes de marea son una parte

importante de la circulación en las plataformas continentales. Debido a que se trata de mares someros, las mareas tienden a amplificarse en las plataformas. Las bajas profundidades también implican que las mareas no lineales son importantes. Cuando las corrientes de marea son fuertes (usualmente un orden de magnitud mayores a las corrientes de circulación media) producen corrientes residuales del mismo orden de magnitud de las corrientes de fondo con efectos importantes en el transporte de contaminantes y sedimentos; en general las corrientes de marea son importantes para el mezclado en océanos someros. Esto tiene implicaciones importantes para la productividad biológica y la ecología de los ecosistemas inmersos en el medio. Si un océano costero está gobernado por corrientes de marea, su estudio puede describirse por modelos de dos dimensiones horizontales, integradas verticalmente, es decir, que la columna de agua sigue un comportamiento advectivo, no baroclínico, o por modelos de tres dimensiones para comprender el mezclado causado por la turbulencia en las diferentes capas verticales.⁹

B. ANALISIS DE INFORMACION SOBRE ESTUDIOS PREVIOS DEL SECTOR

1. SOBRE LAS CORRIENTES DEL SECTOR

Como se indicó anteriormente, para el estudio de la variación de las líneas de costa de este sector, contamos con el aporte de información provista por el INOCAR, en base a su estudio de impacto ambiental circunscrito al área de influencia (2 km alrededor del muelle municipal), así como los hábitats aledaños a esta área.

⁹ En la Tesis presentada por el Master Leonardo Hernández Azcúnaga, éste indica que las fluctuaciones de la marea, ayudan conjuntamente con la corriente a amplificar su efecto en las líneas de costa, y de esta manera ser un medio para el transporte de contaminantes y sedimentos que pueden adherirse a los diferentes tipos de suelo o lecho marino lo cual trae consigo un impacto en su parte biológica y ecológica, ya que éste efecto eleva el nivel de impacto de una región al modificar su estructura natural por presencia incluso de factores artificiales que desvían, impiden o facilitan el nuevo curso de las corrientes o mareas.

Para lo cual realizaremos una breve descripción sobre la circulación de la corriente superficial y vertical, que se encuentran presentes en el sector.

a. Circulación Superficial

La circulación superficial está gobernada principalmente por la acción de las mareas. Cabe resaltar que la entrada de agua hacia el estero Limones tiene una tendencia de movimiento hacia el sur.

En forma general, la distribución horizontal de las corrientes superficiales presenta un patrón de circulación muy bien definido, en los dos estados de mareas apreciándose dos movimientos, de acuerdo a los cambios de marea de flujo a reflujo, con mayores magnitudes durante el estado de marea correspondiente al flujo (pleamar).¹⁰

Tabla IV Distribución Superficial de las Corrientes

ESTADO DE MAREA	VELOCIDAD MÁXIMA (m/s)	VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	DIRECCIÓN
FLUJO	0.70	0.33	ESTE
REFLUJO	0.46	0.24	OESTE

¹⁰ De acuerdo a las conclusiones del informe de impacto ambiental del INOCAR sobre las corrientes presentadas en el canal de acceso al Puerto de San Lorenzo, se puede decir que el patrón de circulación superficial tanto horizontal como vertical, está muy bien definido y responde en gran parte al efecto de las mareas, no así en las capas subsuperficiales donde se observa un desfase en la dirección debido a efectos propios del estuario.

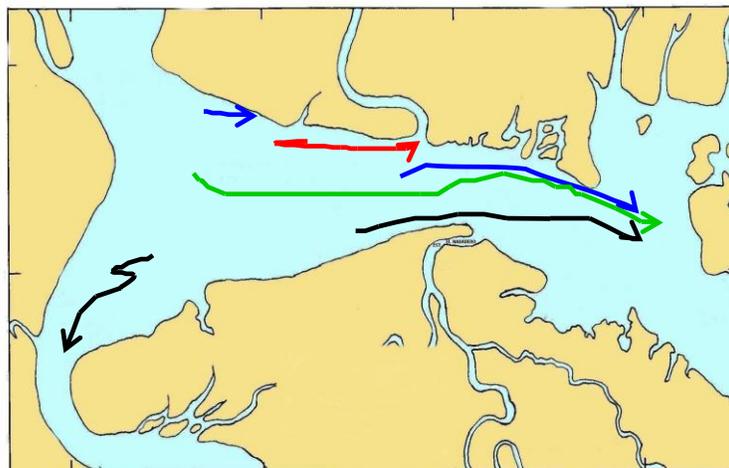


Fig. 14 Gráfica del movimiento horizontal de las corrientes - Flujo

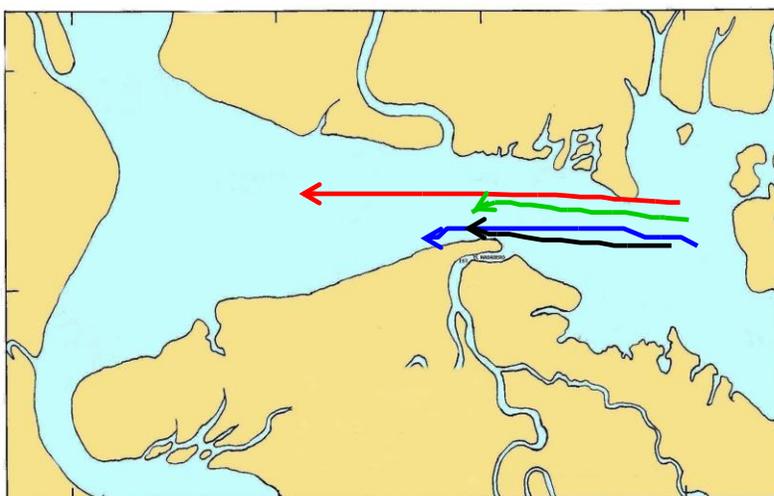


Fig. 15 Gráfica del movimiento horizontal de las corrientes - Reflujo

b. Circulación Vertical

Los rangos de velocidad, obtenidos por el INOCAR en cuanto al estado de flujo sobre todo en los niveles subsuperficiales (medio y fondo), se ha obtenido una velocidad máxima de 0.74 m/s.

En cuanto a las direcciones, en los niveles superficiales se observa una distribución muy bien definida, el cambio de las direcciones van de

acuerdo al cambio de la marea, es decir entrando hacia el canal de San Lorenzo durante el estado de flujo y saliendo del mismo durante el refluo. En los niveles subsuperficiales, aunque la dirección predominante es parecida a lo observado en los niveles superficiales, existen desfases tanto en flujo como en refluo, es decir que aún se observa masas de agua subsuperficiales entrando al canal cuando en los niveles superficiales se observa una clara tendencia de salida. Este desfase es observado con mayor amplitud en la estación 3, la misma que se encuentra ubicada en la parte más cercana a la entrada de agua de mar.¹¹

**Tabla V Distribución Vertical de las Corrientes
Estado de Marea: FLUJO**

Estación	NIVEL	VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	DIRECCIÓN	VELOCIDAD MÁXIMA (m/s)	DIRECCIÓN
E-1	Superficie	0.25	164	0.47	165
	Medio	0.26	178	0.49	168
	Fondo	0.22	233	0.70	168
E-2	Superficie	0.25	83	0.36	112
	Medio	0.15	108	0.35	70
	Fondo	0.8	155	0.34	146
E-3	Superficie	0.29	115	0.38	112
	Medio	0.23	117	0.33	116
	Fondo	0.24	115	0.40	78

¹¹ A partir de la distribución de las corrientes superficiales, se observa que durante el flujo la mayor parte de la masa de agua se dirige hacia el canal de San Lorenzo y una pequeña parte tiende a dirigirse hacia el Estero el Pailón, durante el refluo toda la masa tiende a salir hacia el mar.

**Tabla VI Distribución Vertical de las Corrientes
Estado de Marea: REFLUJO**

<i>Estación</i>	NIVEL	VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	DIRECCIÓN	VELOCIDAD MÁXIMA (m/s)	DIRECCIÓN
E-1	Superficie	0.44	331	0.65	333
	Medio	0.34	298	0.65	328
	Fondo	0.24	214	0.74	175
E-2	Superficie	0.32	280	0.63	266
	Medio	0.18	254	0.72	93
	Fondo	0.10	201	0.52	115
E-3	Superficie	0.28	297	0.50	297
	Medio	0.19	298	0.51	298
	Fondo	0.15	303	0.36	300

II. CONSTRUCCIÓN DE LA CARTA NAUTICA CON LA IDENTIFICACIÓN DE LAS NUEVAS LÍNEAS DE COSTA

Iniciaremos el presente estudio haciendo una breve comparación de las líneas de costa entre la Carta Topográfica CT-ÑI-E1 del cantón San Lorenzo de la provincia de Esmeraldas a una Escala 1:50.000 con la Carta Náutica IOA 100 que comprende desde Punta Gorda al sur y al Norte Cabo Manglares a una Escala 1:100.000; así como también haremos una comparación simultanea con la carta náutica IOA 1003 que comprende desde el Puerto de San Lorenzo hasta Tambillo a una escala de 1:12.500.

A. CARTA TOPOGRÁFICA: SAN LORENZO DE ESMERALDAS ESCALA

1:50.000 (CT-ÑI-E1)

Se empleó la carta topográfica **CT-ÑI-E1**¹² para poder observar las condiciones en las cuales se levantó la información geográfica específicamente de las líneas de costa del cantón San Lorenzo, pudiéndose observar que para la fecha de su primera publicación, esto es en el año 1984, emplearon el Datum SUDAMERICANO 1956, donde las líneas de costa de mencionado sector presentan un relieve moderado y regular, observándose adicionalmente que se establece una zona de bajos o acumulación de sedimentos colindante con la línea de costa para efectos de navegación terrestre, turismo u orientación.

Sin embargo esta carta ha sido de gran ayuda para identificar cuáles son en la actualidad los cambios geográficos presentes sobre la línea de costa publicada en la carta IOA 100.

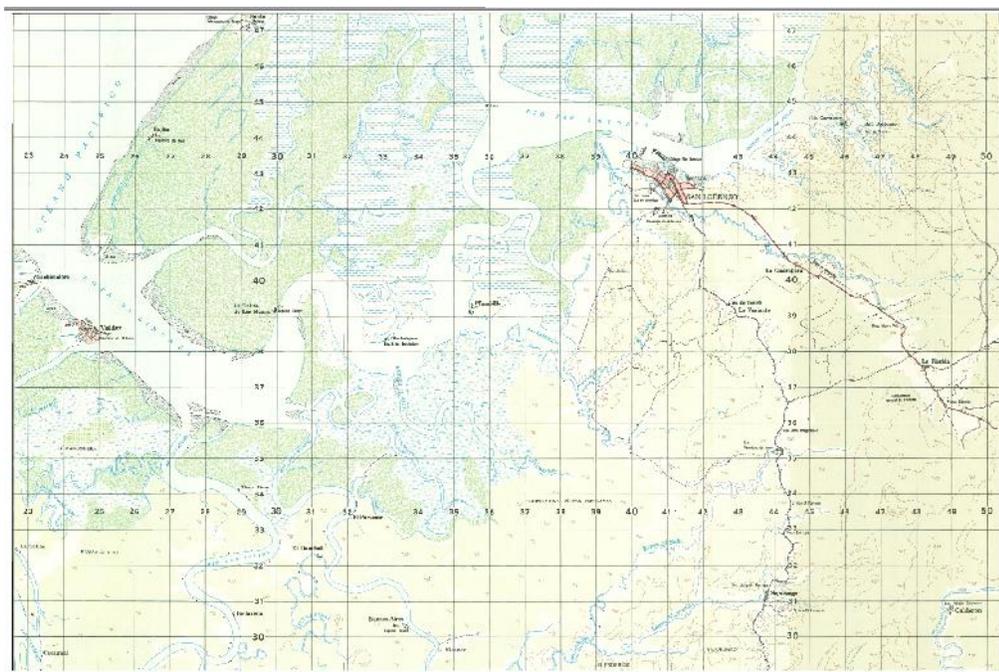
Adicionalmente podemos hablar de la Carta IOA 1003, que es la que contiene al área de estudio y por lo tanto está completamente actualizada,

CARACTERISTICAS DE LA CARTA TOPOGRAFICA CT-ÑI-E1

- Región Costa, Provincia de Esmeraldas
- Coordenadas Geográficas:
 - ✓ Latitud: N 1° 10' / N 1° 20' y Longitud: W 79° 0' / W 78° 45'
- Coordenadas Planas UTM (aprox):
 - ✓ Norte: 129030 / 147480 y Este: 722550 / 750370
- Código Intenacional: 3897-IV
- Edición: 1998
- Idioma: Español

¹² Información de la Carta topográfica obtenida a través del portal web del Instituto Geográfico Militar. Esta carta fue publicada por primera vez en el año 1984 y su actualización fue realizada en el año 1998 sin mayores cambios en la línea de costa. Sus cambios principales fueron establecidos en razón de la vialidad terrestre y poblaciones del sector.

- Descripción General:
 - ✓ Para orientación general, navegación y turismo.
- Orografía: La orografía está representada por un relieve generalmente regular. Sus alturas oscilan entre 70 y 1 metro. El suelo está ocupado por manglares, terrenos sujetos a inundación y arrozales.
- Cotas extremas: 70 y 1 msnmm.
- Hidrografía: El Océano Pacífico cubre un 40% de la carta. El sistema hidrográfico es numeroso, los Ríos San Antonio, Cayapas, Najurungo, Los Atajos y los Esteros Natal, Guachal, El Salto, Casa de Pargo, Panadero, Orgullo y otros afluyen sus aguas en el Océano.
- Ciudades y Poblados: Los lugares poblados que se encuentran en la carta son San Lorenzo, Valdez, Tambillo, Cachimalero, Calderón, El Porvenir, Buenos Aires, Nicanor, Bellavista, La Tolita de Los Ruanos, La Variante, La Florida, Bajito, Santa Rosa, San Antonio, El Guachal.
- Red Vial: Cuenta con una carretera asfaltada sólida de una vía, caminos de verano, senderos, línea del ferrocarril Ibarra-San Lorenzo y transporte fluvial.
- Especificaciones:
- Datum: SUDAMERICANO 1956
- Tamaño: 40 X 60
 - ✓ Equidistancia de curvas cada 40m auxiliares 20m
 - ✓ Cubre 18.5 x 27.8 kms, representa una superficie total de 513.4 km² (valores aproximados)
- Cuadrícula: es de 2 X 2 cm, representa 1 km² en el terreno



**Fig. 16 Carta Topográfica CT-ÑI-E1 del cantón San Lorenzo
de la provincia de Esmeraldas a una Escala 1:50.000
Fuente: Instituto Geográfico Militar – IGM. Año 1998**

Una vez realizada la delimitación correspondiente de estudio, podemos observar varios accidentes geográficos que son de utilidad para poder identificar los cambios geográficos actuales. Para lo cual debemos centrar nuestro estudio al cantón San Lorenzo en sus líneas de costa y zonas de poca profundidad.

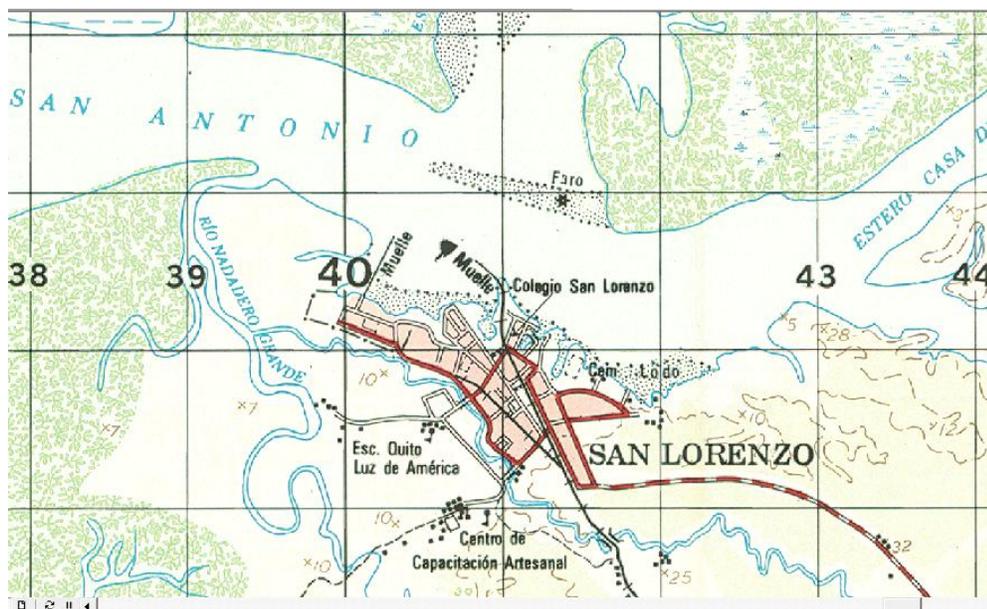


Fig. 17 Delimitación de la Zona de Estudio según

Carta Topográfica CT-ÑI-E1

Fuente: Instituto Geográfico Militar – IGM. Año 1998

Para comprender un poco más, sobre la modificación actual de la línea de costa sobre el área que comprende el estudio respectivo según esta carta topográfica, debemos inicialmente identificar su línea de costa del área de estudio, así como del área peligrosa por efecto de sedimentación o zona de peligro para navegación fluvial. Información que fue recolectada y publicada en su primera edición en el año 1984 por el Instituto Geográfico Militar (IGM); actualizando la misma en el año 1998.

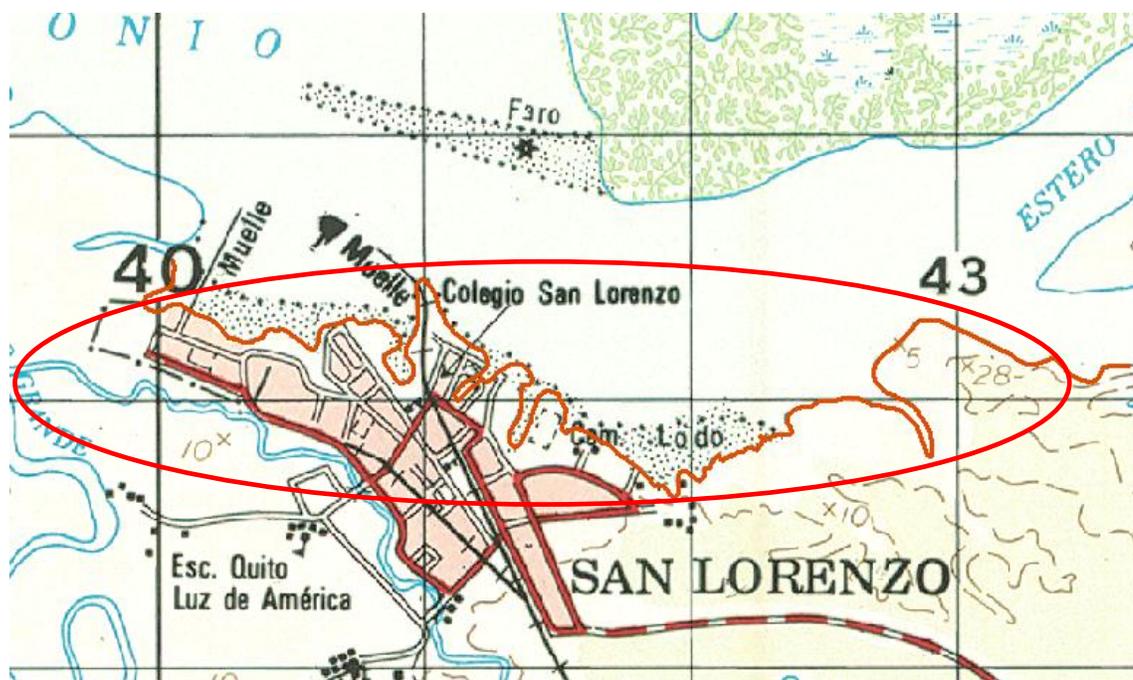


Fig. 18 Identificación de la Línea de Costa del Cantón San Lorenzo según
Carta Topográfica CT-ÑI-E1

Fuente: Instituto Geográfico Militar – IGM. Año 1998

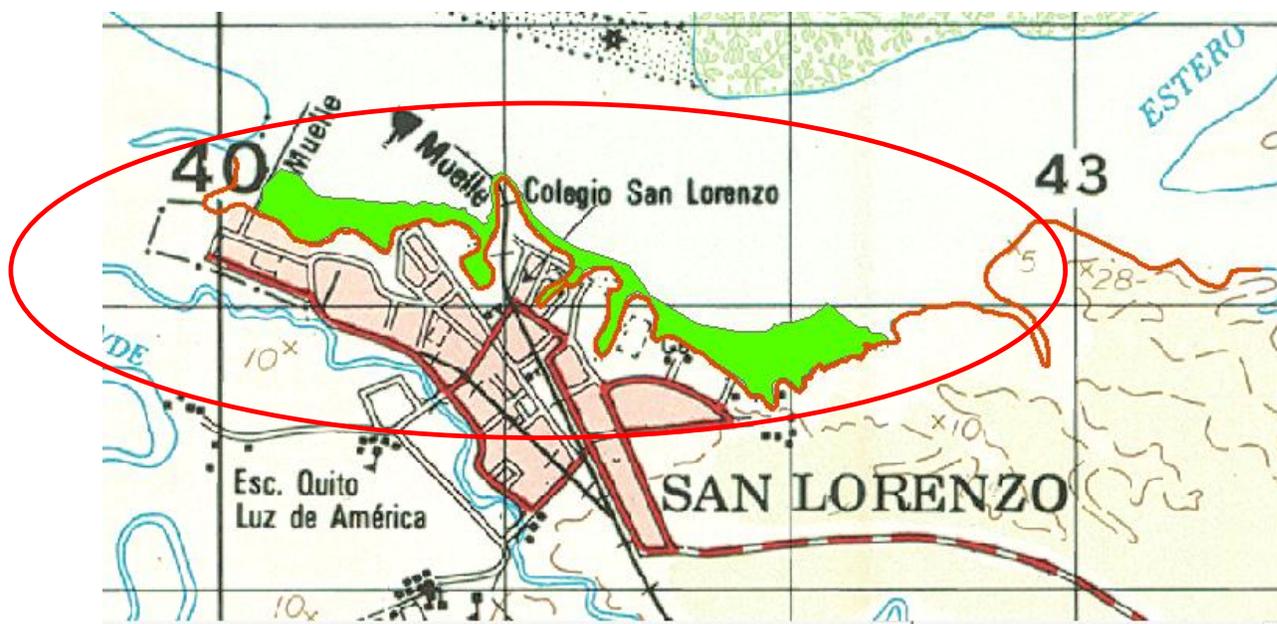


Fig. 19 Identificación de la Línea de Costa y zona de peligro (Sedimentación) del Cantón
San Lorenzo según Carta Topográfica CT-ÑI-E1

Fuente: Instituto Geográfico Militar – IGM. Año 1998

De acuerdo a lo indicado en las Fig. 18 y Fig. 19, para ambos casos se realizó un **Shape** de polilínea en ArcGis para poder identificar y georeferenciar estas características geográficas según Datum WGS84 zona 17 N.

B. CARTA NÁUTICA IOA 100 Escala 1:100.000

Esta carta náutica fue proporcionada por el INOCAR, en la cual hace referencia a otras cartas como son la IOA 10003, que es la catalogación de la carta de aproximación al cantón San Lorenzo, sin embargo esta también fue proporcionada al autor de esta tesis para fines investigativos, y de esta manera identificar los errores gráficos representados en la edición 2012, debido a inexactitud del análisis satelital para la definición de la línea de costa.

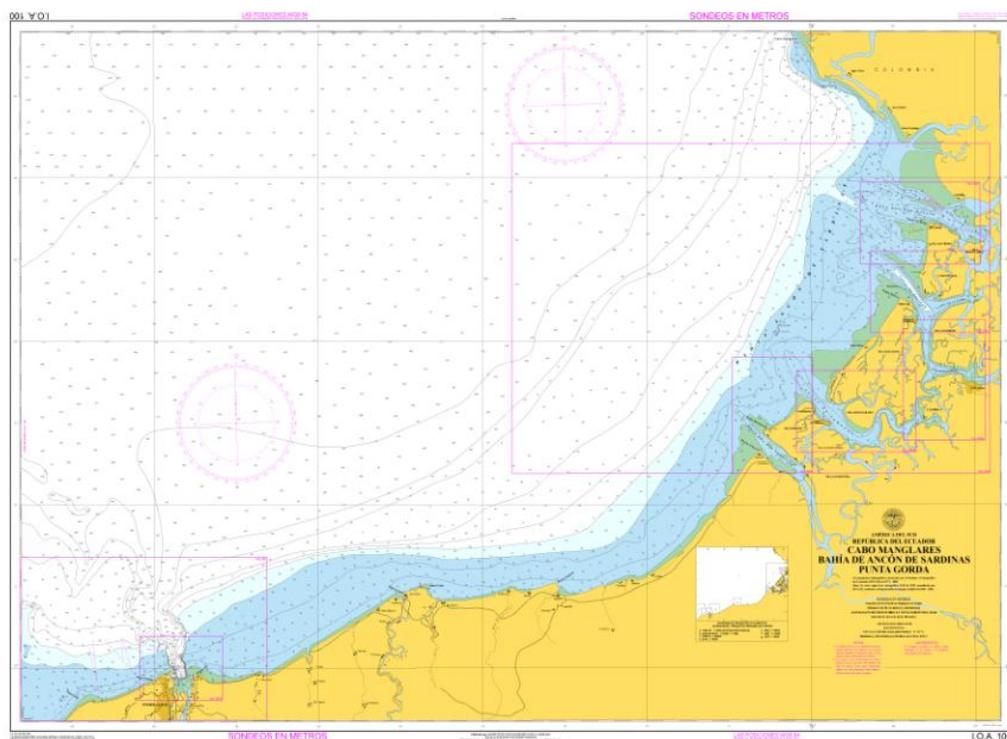


Fig. 20 Carta Náutica IOA 100 “Cabo Manglares - Bahía de Ancón de Sardinas - Punta Gorda”
Fuente: instituto Oceanográfico de la Armada. Año 2012

De la carta antes expuesta en la Fig. 20 se puede decir que los levantamientos hidrográficos han sido elevados por el INOCAR con información obtenida de

mediciones desde 1974 hasta el año 2008, y haciendo referencia a la línea de costa según la base cartográfica del IGM del año 1998 y actualizada mediante imagen satelital del año 2005.

Para efectos de estudio, vamos a emplear la carta náutica IOA 100, para verificar las variaciones de su línea de costa y demás accidentes geográficos que impidan a los navegantes tener una navegación segura, en contraste con la carta topográfica **CT-ÑI-E1**; por tal motivo realizaremos una comparación con la edición del IGM y la del INOCAR en cuanto a la exactitud en la graficación de la línea de costa, tomando en consideración que el IGM publicó su carta actualizada en el año 1998 y el INOCAR en el año 2012.

Al igual que la carta del IGM, vamos a realizar una identificación visual y superficial de la línea de costa, zonas peligrosas y otros detalles pertinentes que puedan contribuir a la realización de este estudio.

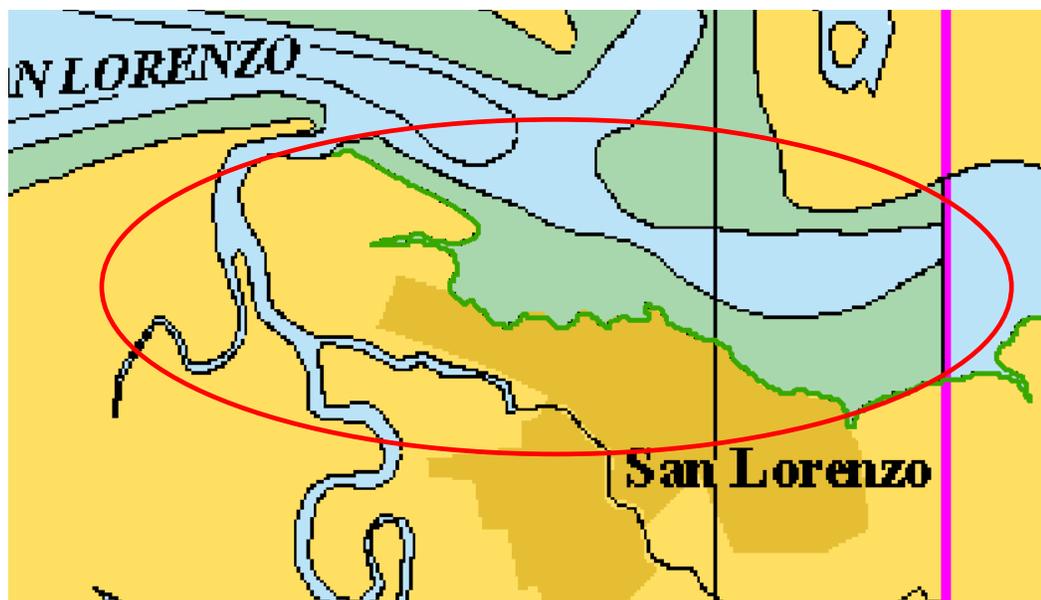


Fig. 21 Identificación de la Línea de Costa del Cantón San Lorenzo según
Carta Náutica IOA-100

Fuente: instituto Oceanográfico de la Armada. Año 2012

Una vez identificada la línea de costa según la carta IOA-100, en la Fig. 21 podemos observar ligeramente la aparición áreas terrestres de pequeñas extensiones que no son parte da la línea de costa y que se representan en mencionada carta fuera de la delimitación correspondiente.

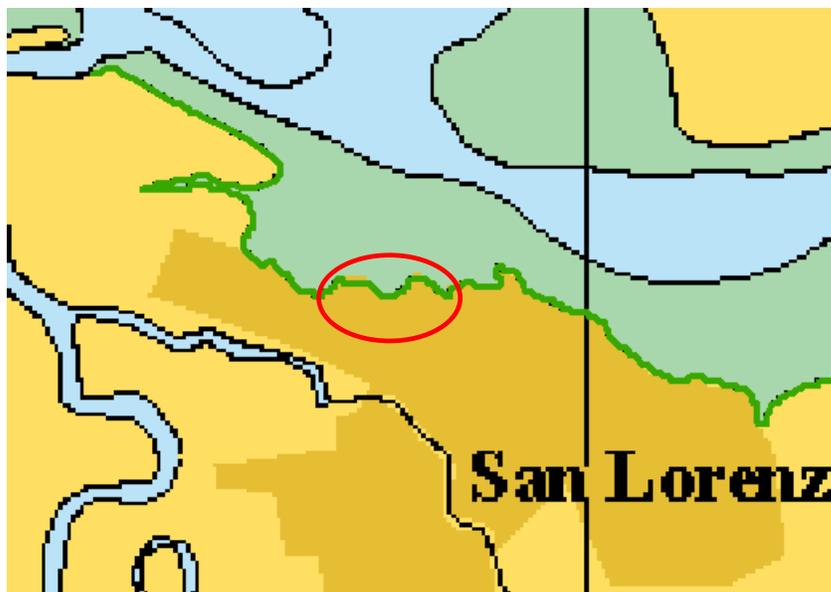


Fig. 22 Aparición de extensiones de terreno fuera del límite de la costa.

Fuente: instituto Oceanográfico de la Armada. Año 2012

En esta carta también podemos encontrar las zonas de poca profundidad colindante con la línea de costa, en donde esta representación es una ayuda para los navegantes fluviales.

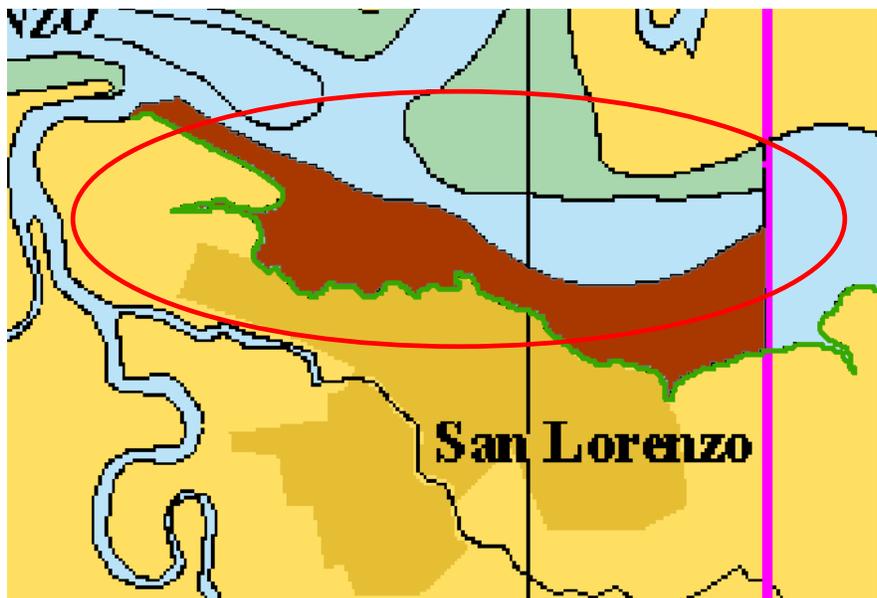
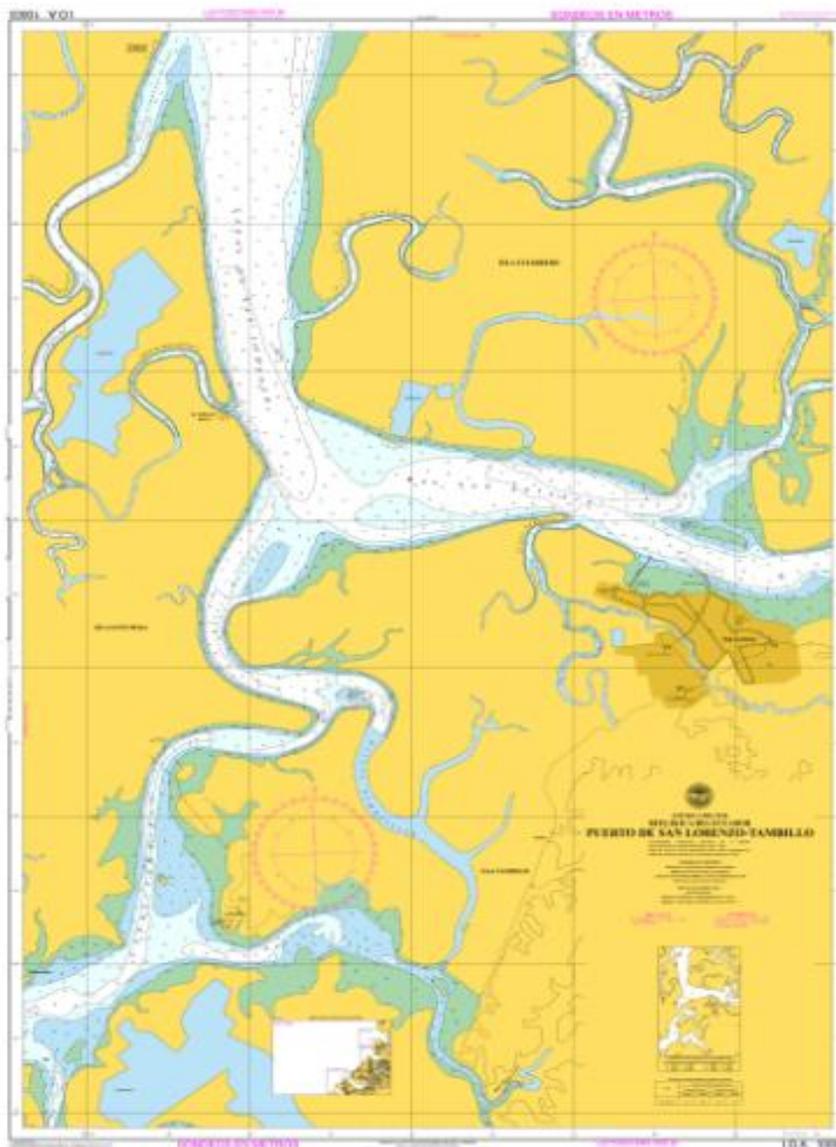


Fig. 23 Identificación de la Línea de Costa y zona de poca profundidad (Sedimentación) del Cantón San Lorenzo según Carta Náutica IOA-100
 Fuente: instituto Oceanográfico de la Armada. Año 2012

C. CARTA NÁUTICA IOA 1003 Escala 1:12.500

Esta carta náutica también fue proporcionada por el INOCAR, como parte de la carta IOA 100, la cual mantiene la catalogación correspondiente, sin embargo ésta se difundió como parte de la edición del año 2011.

Este documento se encuentra a una escala de 1:12.500, y comprende el puerto de San Lorenzo hasta Tambillo. En esta carta se pueden ya apreciar al detalle la actual línea de costa y los accidentes geográficos artificiales presentes en la zona de estudio, siendo esto parte de la identificación y señalización en la seguridad fluvial de la zona.



**Fig. 24 Carta Náutica IOA 1003
 “Puerto de San Lorenzo - Tambillo”
 Fuente: instituto Oceanográfico de la Armada. Año 2011**

De la Fig. 24 se puede decir que los levantamientos hidrográficos han sido elevados por el INOCAR con información obtenida de mediciones desde 1999 hasta el año 2010, con referencia a la línea de costa según la base cartográfica del IGM del año 1998 y actualizada mediante imagen satelital del año 2010.

Para efectos de estudio, vamos a emplear la carta náutica IOA 1003, para verificar las variaciones de su línea de costa y demás accidentes geográficos que impidan a los navegantes tener una navegación segura, en contraste con fotografías satelitales de la zona del año 2010 y 2011 proporcionadas por el portal web GLOBAL LAND COVER FACILITY y por el IGM.

Igualmente como hicimos con la carta topográfica del IGM anteriormente, vamos a realizar una identificación visual y superficial de la línea de costa, zonas peligrosas y otros detalles pertinentes que puedan contribuir a la realización de este estudio, ya que únicamente nos vamos a basar en la comparación de la carta náutica IOA 1003 con la fotografía satelital y las representaciones topográficas recolectadas para identificar la línea de costa real en función de entregar al público una actualización veraz de la misma en razón de la seguridad que esta reforma va a prestar a los navegantes fluviales de la zona.

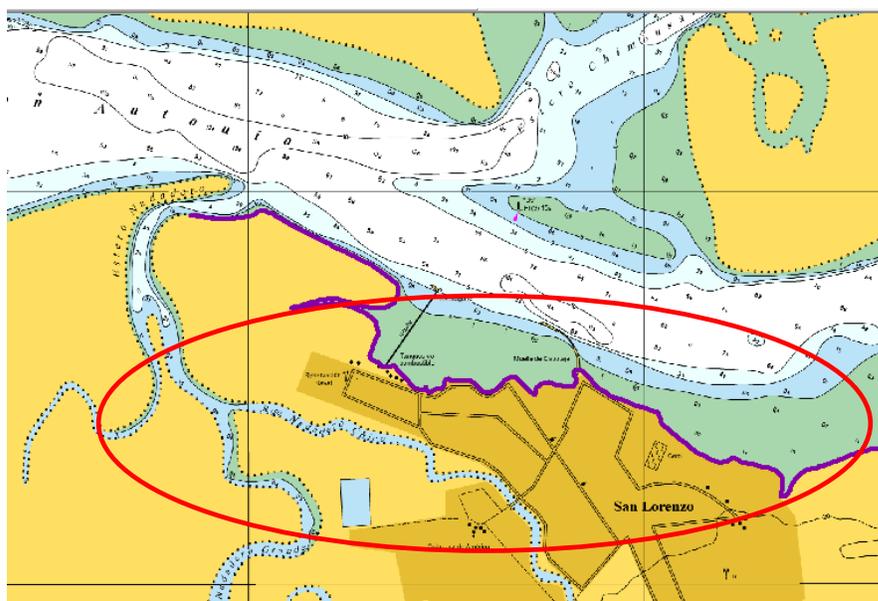


Fig. 25 Identificación de la Línea de Costa del Cantón San Lorenzo según
Carta Náutica IOA-1003

Fuente: instituto Oceanográfico de la Armada. Año 2011

Como esta carta se encuentra a una escala de 1:12.500; podemos decir que es más precisa en cuanto a su presentación grafica para el empleo de los navegantes fluviales de la zona; por lo tanto con la representación gráfica de los veriles de profundidad del área de estudio podemos verificar que existen sondeos en la bajamar de Sicigia donde prácticamente el valor es de 0,9 metros lo que significa que tendremos en ciertas zonas aledañas a la línea de costa distancias de máximas de 200 metros de sedimentación y mínimas de hasta 20 metros de sedimentación colindante con el veril más cercano a la línea de costa planteada, lo cual nos lleva a pensar en un cambio pronunciado y continuo sobre las porciones de sedimentación que se han acumulado en los últimos 20 años, tomando como base la carta topográfica **CT-ÑI-E1**.

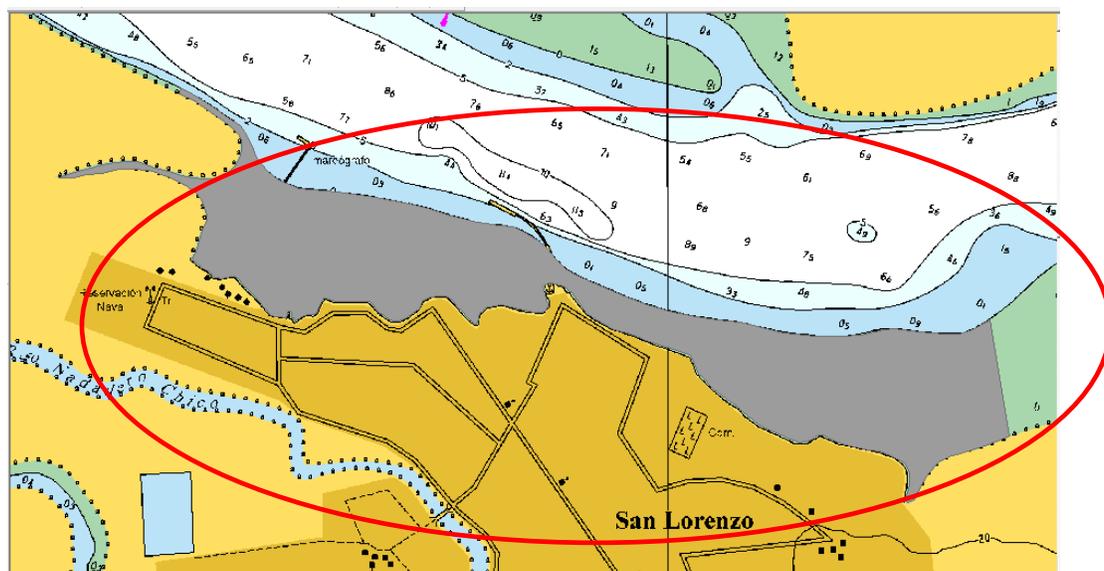


Fig. 26 Identificación de la zona de poca profundidad (Sedimentación) del Cantón San Lorenzo según Carta Náutica IOA-1003

Fuente: instituto Oceanográfico de la Armada. Año 2011

En esta carta se puede apreciar que la sedimentación inicia desde la línea de costa hasta el veril de los 0,9 metros; es decir desde los 0,9 metros de profundidad hasta la línea de costa existe una continua acumulación de sedimentos que con el efecto astronómico de la bajamar de Sicigia se puede observar que a una distancia de 2 a 3 metros hacia la línea de costa, el terreno que se desprende a continuación está casi al mismo nivel de la cota de la línea de costa en ciertos casos.

D. FOTO SATELITAL SRTM¹³ (21-12)

Esta foto satelital nos permite observar con claridad y precisión la actual línea de costa correspondiente al área de estudio, entre las latitudes 00°35´S Y 01°15´N, fotografía tomada en el año 2011 y proporcionada por el IGM; correspondiente con imágenes satelitales de la NASA.

La fotografía tomada por este sensor, actualmente se encuentra liberada por internet, siendo el detalle principal de su adquisición en banda "C", su fotogrametría fue a partir de mapas digitales preliminares de elevación. Estos productos hechos de modelamiento digital de elevación preliminar están debidamente diagramados y ajustados en precisión.

Esta fotografía está actualizada a la fecha, con lo cual podemos definir que tiene una aproximación muy real a las mediciones realizadas por el INOCAR con la fotografía satelital empleada por ellos, para la graficación de la carta IOA 1003.

¹³ Acrónimo corresponde a la misión topográfica de radar a bordo del transbordador (inglés SRTM, de Shuttle Radar Topography Mission) la cual fue desarrollada para obtener un modelo digital de elevación de la zona del globo terráqueo entre las latitudes 56 °S a 60 °N, de modo que genere una completa base de cartas topográficas digitales de alta resolución de la Tierra.



Fig. 27 Foto Satelital del Sistema de Referencia Mundial (WRS) obtenida por el sensor Landsat 7. SRTM 21-12

Con esta fotografía satelital de alta resolución, debemos iniciar realizando un acercamiento hacia el área de estudio, tomando en consideración que el perfil costanero y las líneas de costa se encuentran bien definidas para iniciar el estudio de comparación con las cartas CT- ÑI-E1, IOA 100, IOA 1003 y fotografía satelital Google Earth.



Fig. 28 Zoom del área de estudio de la fotografía satelital SRTM 21-12

E. COMPARACION CARTA TOPOGRAFICA CT-ÑI-E1 VERSUS CARTAS NAUTICAS IOA 100, IOA 1003, FOTO SATELITAL GOOGLE EARTH Y FOTO SATELITAL SRTM 21-12

Iniciaremos el estudio verificando la aproximación de las líneas de costa y perfil costanero de las diferentes fuentes de comparación (cartas y fotografías satelitales), a fin de poder identificar sobre la carta IOA 1003 y CT- ÑI-E1, las falencias sobre la proyección de las líneas de costa graficadas dentro de la extensión del cantón San Lorenzo, para lo cual procederemos inicialmente a geo referenciar todas estas cartas de manera individual con la fotografía satelital SRTM 21-12, a fin de ver la proximidad de las líneas de costa versus la precisión y calidad de la foto tomada por el sensor Landsat 7.



Fig. 29 Comparación de Fotografía Satelital SRTM 21-12 con Carta Topográfica CT- ÑI-E1 a Escala 1:105.000

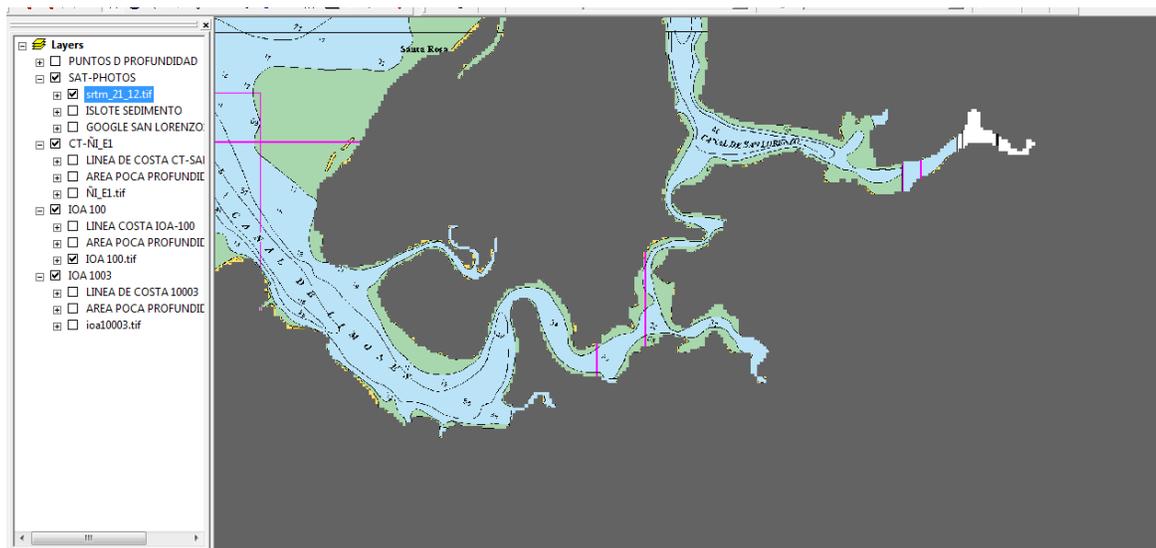


Fig. 30 Comparación de Fotografía Satelital SRTM 21-12 con Carta Náutica IOA 100 a Escala 1:105.000

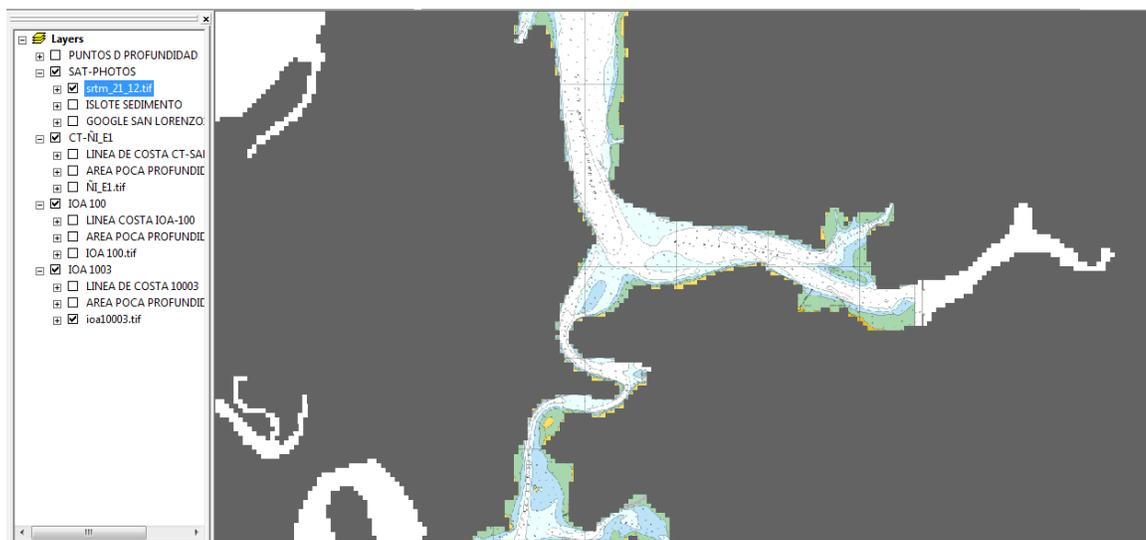


Fig. 31 Comparación de Fotografía Satelital SRTM 21-12 con Carta Náutica IOA 1003 a Escala 1: 70.000

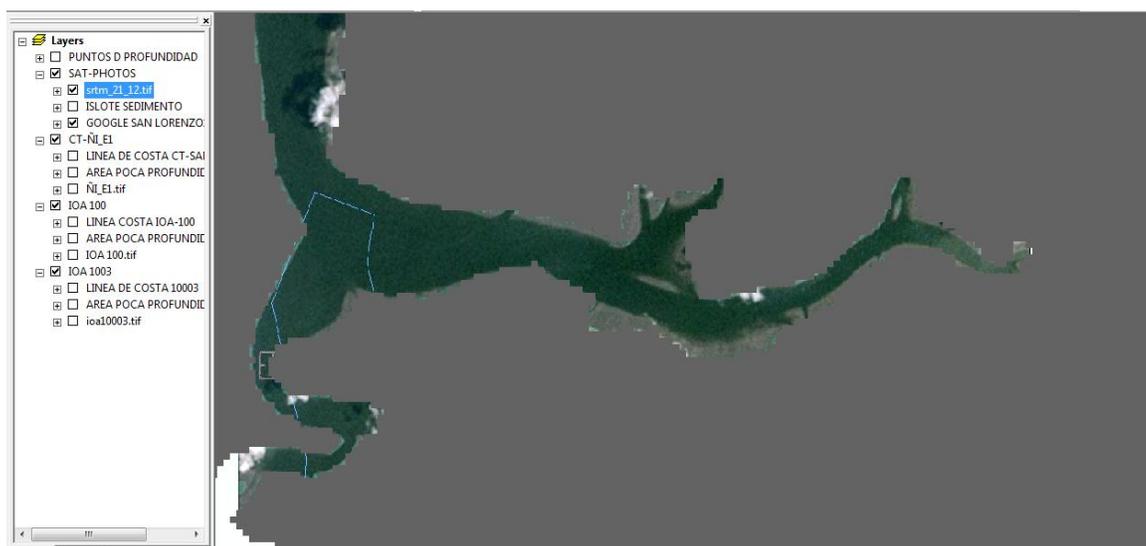


Fig. 32 Comparación de Fotografía Satelital SRTM 21-12 con Carta Náutica IOA 1003 a Escala 1: 50.000

De las figuras antes descritas, es decir de la figura 28 a la 31, podemos concluir que la proximidad de precisión de la fotografía satelital es correspondiente en exactitud en un 91% con la representación de las líneas de

costa del área de estudio, es decir cuando hacemos una comparación de las cartas de estudio a una escala 1:100.000 no podemos observar mayores cambios o desvíos de la graficación para el empleo de usuarios particulares, pero a medida que reducimos la escala hasta 1:25.000, sobre el área de estudio, ya podremos identificar la presencia de errores de graficación geográfica que son considerables para aquellos usuarios de esta ruta fluvial para el tránsito, atraque, desatraque y fondeo de unidades marítimas y fluviales de mediano y pequeño calado. Para lo cual vamos a realizar una comparación de líneas de costa entre los documentos puestos en vigencia por el I.G.M y el INOCAR y de esta comparación emitir el criterio de resultado sobre la modificación que se deber generar a fin de tener una mayor precisión en la geo referenciación de los accidentes geográficos actuales y su contribución a la orientación de navegantes terrestres y fluviales.

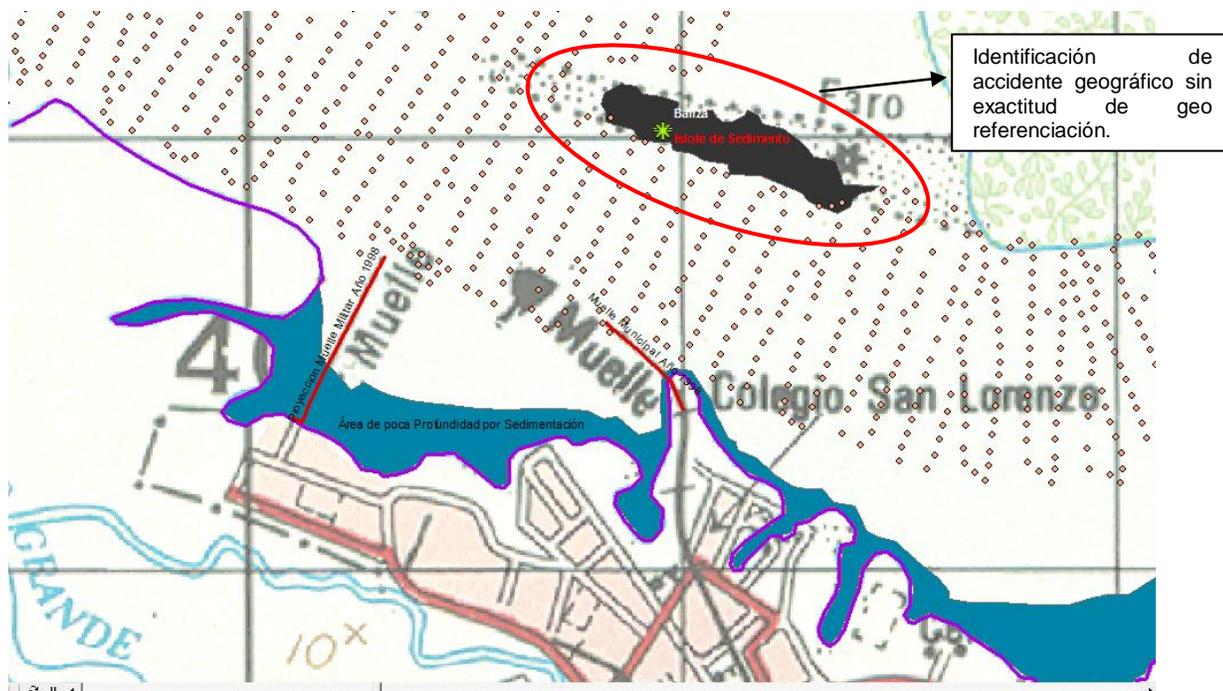


Fig. 33 CT- ÑI-E1 a Escala 1:10.000 con proyección de sus muelles Año 1998; posee error de graficación en el islote donde se encuentra la Baliza B-4

Fuente: Instituto Geográfico Militar – IGM. Año 1998

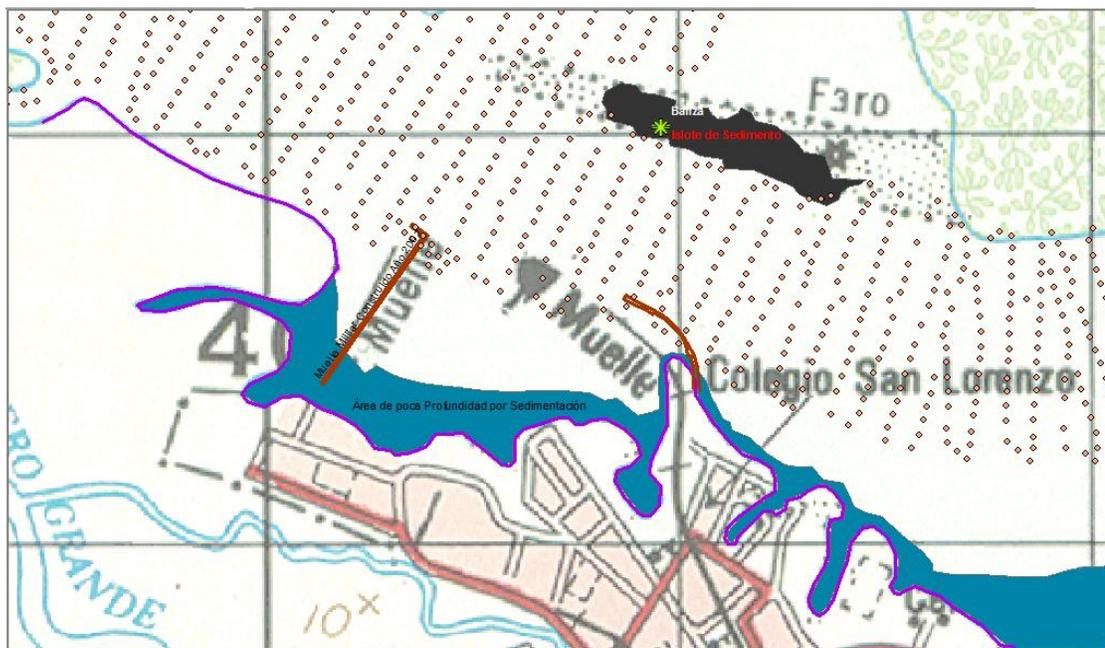


Fig. 34 CT- ÑI-E1 a Escala 1:10.000 con identificación de error en la graficación de los muelles.

Fuente: Instituto Geográfico Militar – IGM. Año 1998

En la figura 33, podemos observar también que el área de poca profundidad por Sedimentación, está muy alejada de las mediciones de sonda realizados por el INOCAR en el año 2010.

En la carta topográfica CT- ÑI-E1 ya se han podido observar dos errores de graficación que son evidentes, y pueden constituir un peligro para los navegantes terrestres y/o fluviales; más adelante podremos verificar el cambio de las líneas de costa en el área de estudio, las cuales deberán ser modificadas por el Instituto Geográfico Militar, a fin de que emita una carta topográfica con las modificaciones correspondientes.

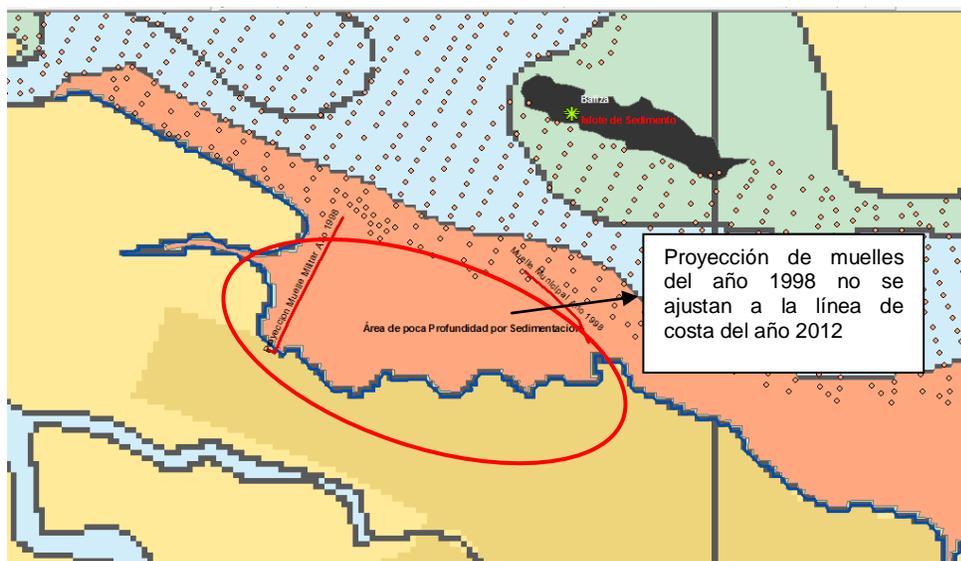


Fig. 35 Carta IOA 100 a Escala 1:10.000; se puede observar que la proyección de los muelles de 1998 no se ajustan a la línea de costa presentada en esta carta, así como también no se encuentra dibujado el islote y la baliza.

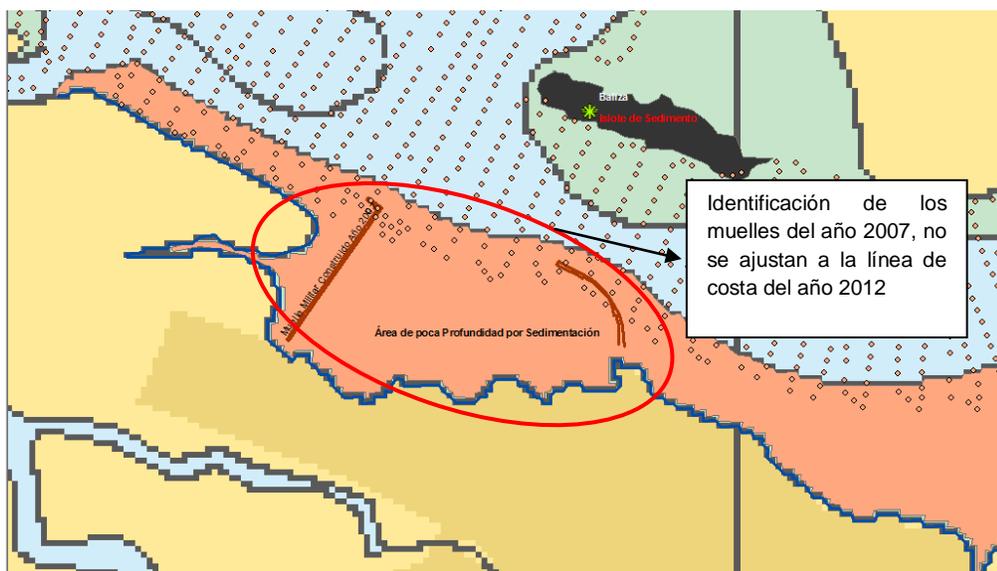


Fig. 36 Carta IOA 100 a Escala 1:10.000; se aprecia que la geo referenciación de los muelles del sector de estudio no están ajustados a la línea de costa.

Tanto en la figura 34 y 35, se puede apreciar que la medición de profundidad se encuentra sobre el área de poca profundidad, lo cual llega a constituirse

que este tipo de mediciones están al borde de la línea de costa actual en la bajamar de sicigia. Sin duda, al no ser una carta de aproximación a muelle, la IOA 100 denota varios errores que por la naturaleza de la edición no deberían presentarse y por lo tanto serán también imperceptibles.

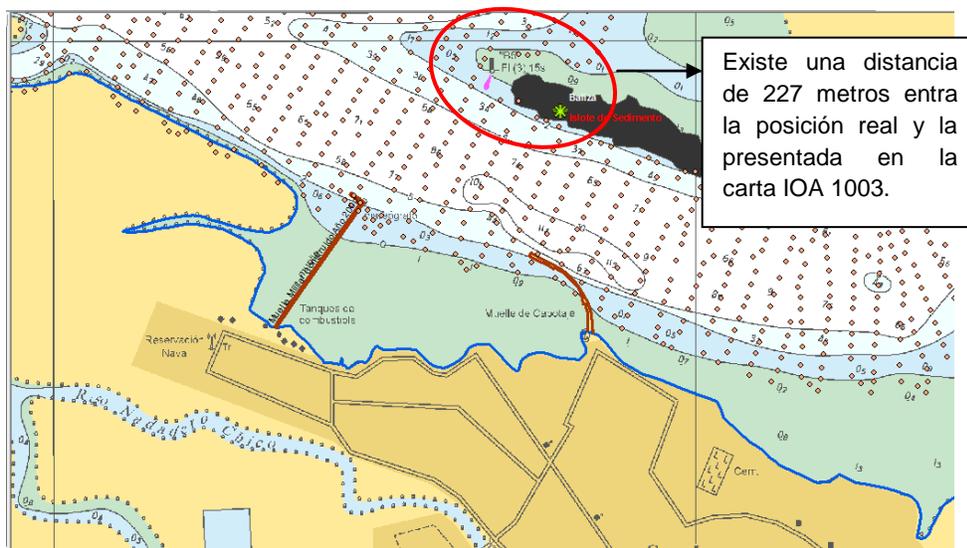


Fig. 37 Carta IOA 1003 a Escala 1:10.000; a primera vista se puede detectar un error en la ubicación geográfica de la Baliza de Posicionamiento B-4

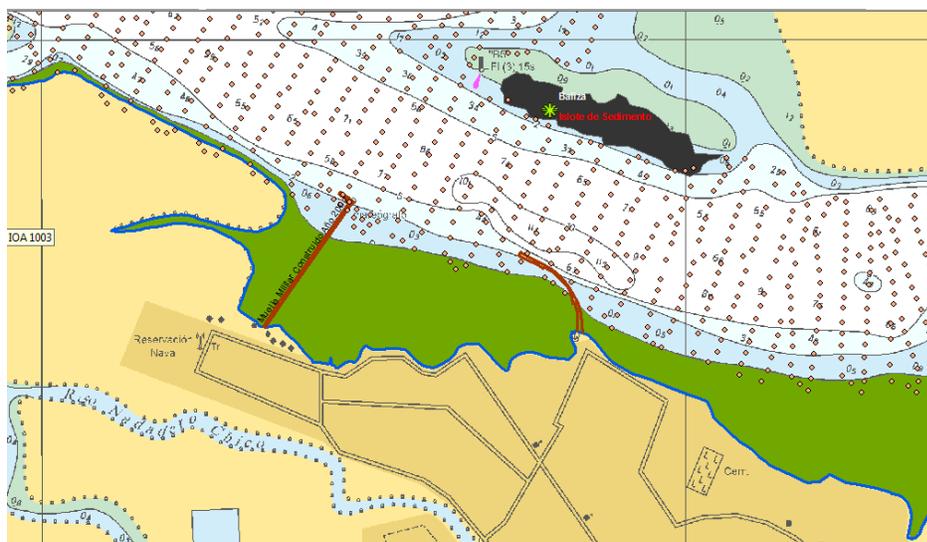


Fig. 38 Carta IOA 1003 a Escala 1:10.000; las mediciones de profundidad están al límite de la línea de costa de la bajamar de sicigia.

En esta carta que si es de aproximación, podemos observar que la graficación de la Baliza B-4 está a una distancia de 227 metros de la posición real tomada por G.P.S., lo cual no deja duda sobre el impacto que generará la publicación de esta carta con las correcciones del caso, que será la geo referenciación de la baliza B-4 y la inclusión del Islote formado alrededor de ésta baliza.

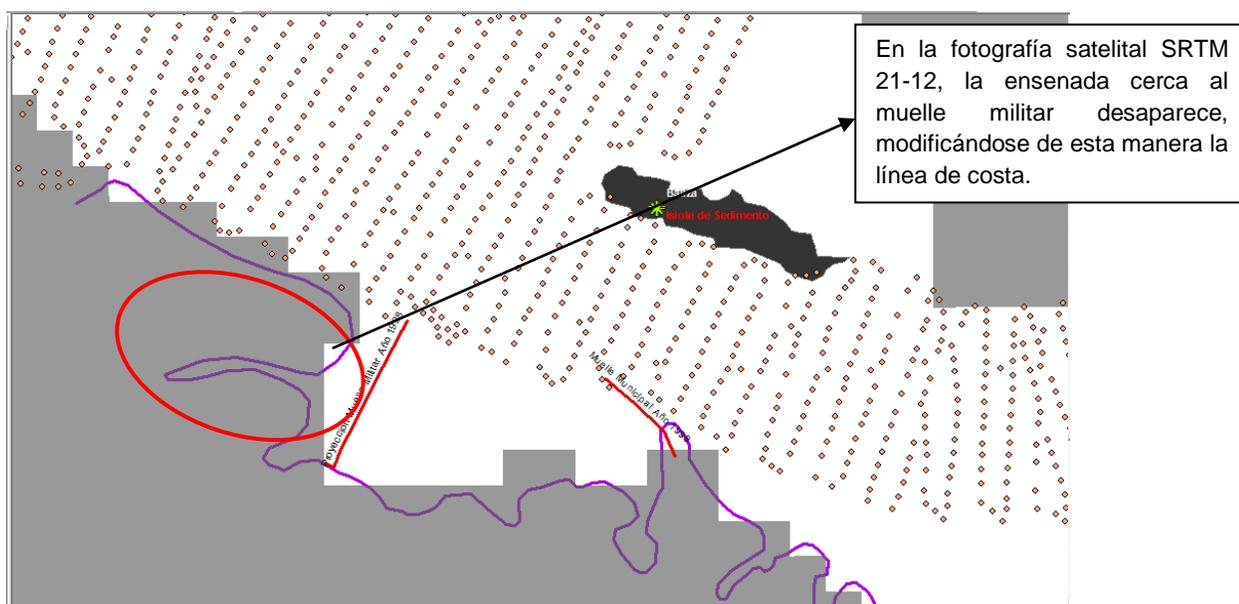


Fig. 39 Fotografía Satelital SRTM 21-12; ajustada con datos de línea de costa, islote y Baliza B-4 con la Carta Topográfica CT- ÑI-E1. Escala 1:10.000.

En este shapefile, que fue realizado para nuestra investigación, podemos observar que la línea de costa de la carta topográfica CT- ÑI-E1, no se ajusta perfectamente a la toma satelital, lo cual permite identificar una vez más que la actualización de la carta topográfica CT- ÑI-E1, debe ser realizada en base a información como el área de poca profundidad por sedimentación presente, lo cual se manifiesta en la desaparición de la ensenada cerca al muelle militar.

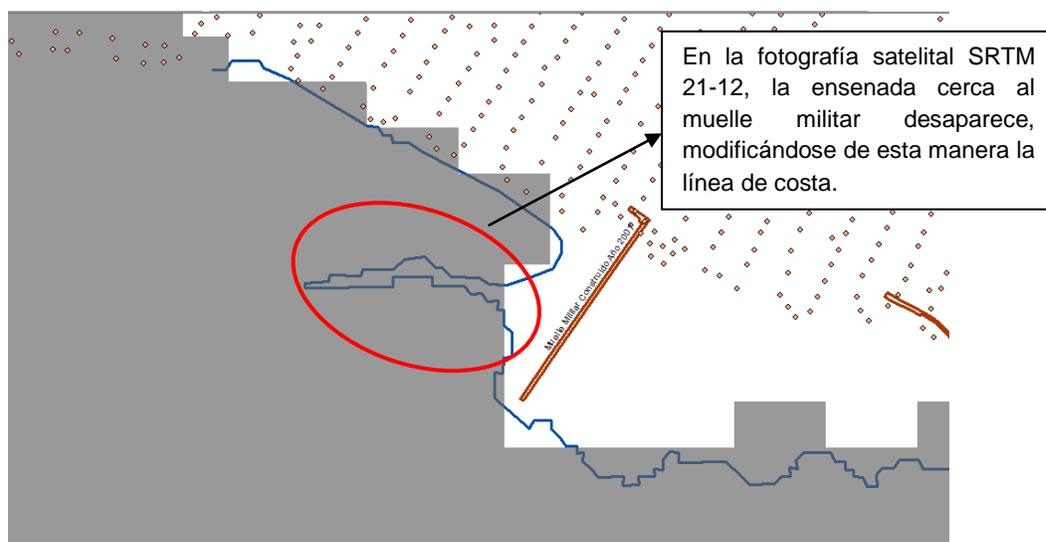


Fig. 40 En la fotografía Satelital SRTM 21-12; se puede observar la desaparición de la ensenada cercana al muelle militar, lo cual demuestra el cambio de la línea de costa de la carta IOA 100. Escala 1:7.000.

Así mismo, en esta comparación de la fotografía satelital con la carta IOA 100, el área de la ensenada desaparece, lo cual esta área deja de ser imperceptible, ya que son aproximadamente 15,000 metros cuadrados de ensenada que desaparecen en la fotografía satelital. Por lo cual nos queda hacer una última comparación de la información con las cartas IOA 1003.

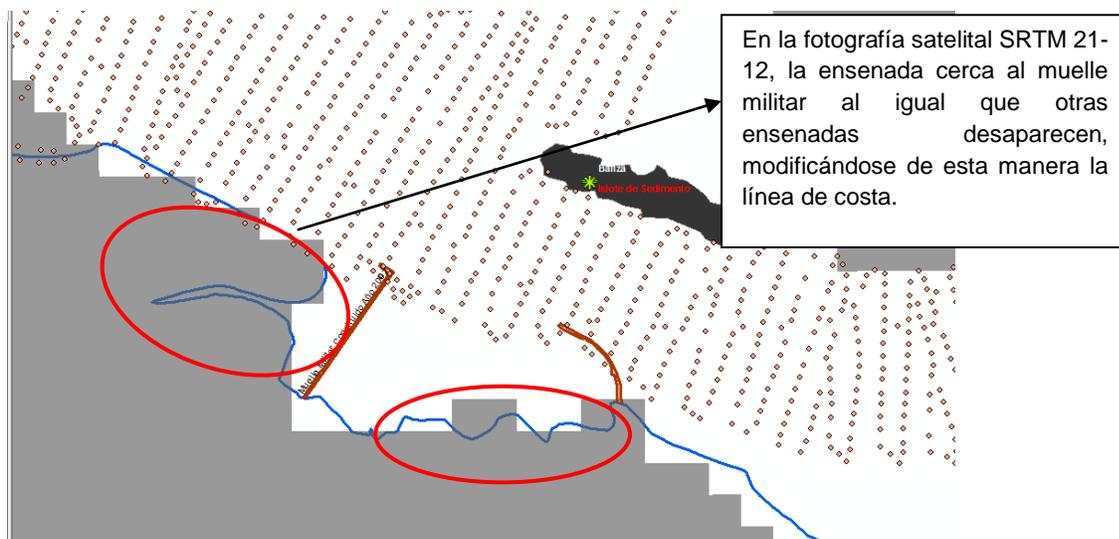


Fig. 41 Carta IOA 1003, al ser traslapada con la fotografía Satelital SRTM 21-12; se puede observar también la desaparición de la ensenada cercana al muelle militar, lo cual demuestra el cambio de la línea de costa. Escala 1:10.000.

III. RESULTADOS

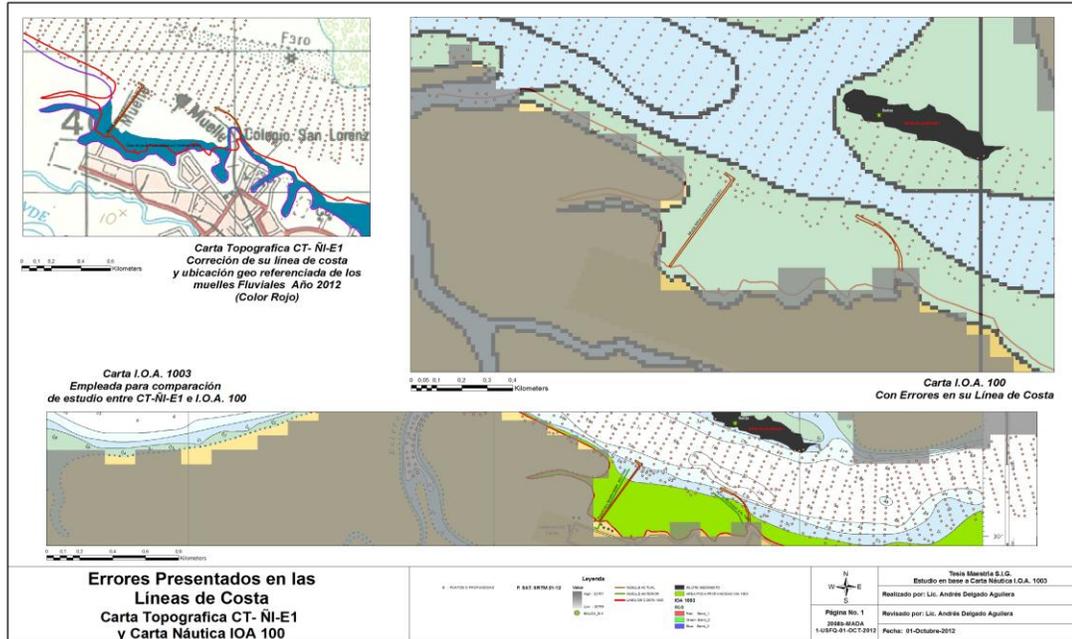


Fig. 42 Mapa Temático con la identificación de los errores en las líneas de costa de las cartas CT- ÑI-E1, IOA 100, IOA 1003

Una vez que se ha realizado a profundidad el estudio de los errores presentados en la graficación de carta topográfica CT- ÑI-E1 y las cartas náuticas IOA 100, IOA 1003, se ha procedido con la construcción de la carta náutica que identifica las nuevas líneas de costa, este documento es de mucha importancia, pues de éste se desprenden resultados que coadyuvan a entregar de una respuesta objetiva a las preguntas de investigación que son parte de la demostración de la hipótesis antes planteada por el investigador. Por lo antes señalado podemos decir las siguientes respuestas a las preguntas planteadas:

- 1. ¿La carta topográfica CT- ÑI-E1 y las cartas náuticas IOA 100, IOA 1003, poseen hitos definidos en los puntos sobresalientes del área de estudio que permitan identificar con exactitud la posición de los accidentes artificiales?**

La carta topográfica CT- ÑI-E1 y la carta náutica IOA 100, son las únicas cartas que no permiten visualizar con exactitud la línea de costa real, y por lo tanto, la información ahí presentada puede ser un riesgo tangible de una mala apreciación de la proyección de crecimiento urbanístico o de desarrollo de costas.

Por otra parte estas dos cartas, poseen un error mayor que es la falta de exactitud en la ubicación de los muelles fluviales, lo que hace posible una mala apreciación de la situación dentro del canal de San Lorenzo; así mismo es pertinente indicar que en la carta náutica IOA 1003, se incluyó exactamente la zona de sedimentación actual, y la ubicación georeferenciada de los muelles fluviales, pues esta última, mantiene actualizada su línea de costa y su área de poca profundidad, lo cual permite proyectar a un futuro la nueva línea de costa que se formará por la presencia de los accidentes geográficos artificiales que se han incluido en la ruta del movimiento de sedimentos dentro de las masas de agua, lo que ha generado una pronunciada área de sedimentación que se extiende de manera homogénea después de la línea de costa identificada en la bajamar de sicigia.

2. *¿Las áreas de sedimentación son representadas con exactitud en las cartas náuticas IOA 100, IOA 1003?*

Si bien es cierto, que los elementos que han aportado para una pronta sedimentación de la zona contigua a las línea de costa, es la presencia de los muelles fluviales, ésta presencia se ha tornado significativa, puesto que la sedimentación confluye de mayor manera entre el muelle militar y el muelle municipal de la ciudad, lo que pone en evidencia que entre estos dos accidentes geográficos artificiales, la sedimentación será mayor que en las zonas de proyección hacia mar y hacia tierra, denotándose de esta manera que existe exactitud únicamente en carta náutica IOA 1003, en cuanto a la representación de la sedimentación y no de la ubicación real de los muelles.

3. *¿A qué se debe la proyección de la línea de costa por efecto de la sedimentación en la representación gráfica de las cartas náuticas IOA 100, IOA 1003?*

Dentro del estudio realizado, se pudo notar que la corriente fluvial que se moviliza por este brazo de mar, es la causante para el desplazamiento de los sedimentos en suspensión, lo que se deriva en definir que la presencia de los muelles es la causa para que las líneas de costa estén en permanente modificación.

IV. CONCLUSIONES

- La representación gráfica de la carta topográfica **CT-ÑI-E1**, publicada por primera vez en el año 1984, ya poseía ciertos errores de edición en cuanto a ciertos factores de accidentes geográficos artificiales que no estaban debidamente geo referenciados; que sin duda por la utilización el DATUM Sudamericano 1956, estos errores de edición fueron casi imperceptibles a la fecha, ya que la misma no fue comparada con foto satelital y/o con mediciones de campo. Es por esta razón que para la fecha de su segunda edición es decir en el año 1998, esta carta poseía gran parte de la información de la edición anterior, y por tanto con ayuda de los sistemas de información geográfica (SIG) se pudo identificar ciertos errores como son las líneas de costa entre los muelles artesanales del cantón San Lorenzo, que poseen un error de entre los 20 y 150 metros de distancia de lo que para aquella fecha existía, lo que impide tener una visualización más exacta de las condiciones costeras que tiene esta ruta fluvial para quienes utilizan esta vía de comunicación y la exactitud para lo cual han sido representadas los peligros en la navegación.
- Para la elaboración y determinación de resultados de este documento de tesis, la metodología utilizada se apoyó en el estudio de impacto ambiental proporcionado por el INOCAR, el cual nos indica de la acumulación de sedimentos por efecto de la creación y/o construcción de elementos artificiales al pie de la línea de costa, nos permite conocer que, con la compilación de información del sector en cuanto al movimiento de sedimentos por aproximadamente diez (10) años, más los cambios brusco en la dirección y velocidad de la corriente marina interna y superficial, han colaborado para que estos sólidos en suspensión se acumularan al pie de la línea de costa inicial, lo cual represente luego de aproximadamente 12 años en una extensión de terreno que bordea aproximadamente unos 664.000 metros cuadrados de

- extensión; con lo cual se puede apreciar un cambio radical del contorno de la costa fluvial por efectos mareográficos propios de las áreas con presencia de esteros y manglares.
- Las cartas náuticas IOA 100 e IOA 1003, son herramientas necesarias para los navegantes quienes al usar estas vías de comunicación, requieren de información actualizada y veraz, sobre las condiciones del canal y específicamente en la zona de aproximación a muelle, tanto para embarcaciones artesanales (Pequeñas) o de mediano calado, siendo estas últimas, las que deben tener actualizados los veriles de profundidad y la línea de costa, fin estos no incurran en errores graves al navegar en sus naves y con esto prevenir la ocurrencia de accidentes o desastres, puesto que, con el estudio realizado a las dos cartas náuticas antes en mención, éstas poseen errores que pueden ser solucionadas y que fueron identificadas como parte de este proyecto de tesis.
- Al comparar las cartas IOA 100 e IOA 1003, podemos observar que la línea de costa perteneciente al cantón San Lorenzo, dista en un margen de error no superior a los 45 metros entre ambas cartas, lo cual fue demostrado con el uso del SIG; éste error al ser comparado con una imagen satelital actualizada, confirma la existencia del mismo, especialmente entre el muelle militar y el artesanal; pero esta distancia se amplía hacia el Este, donde prácticamente el canal termina. Sin duda nos queda por indicar que la carta topográfica **CT-ÑI-E1** está completamente desactualizada desde su última edición, siendo ésta de poca utilidad para fines fluviales y/o de navegación al emplear este documento, ya que, la información ahí contenida es de poca utilidad en el aspecto fluvial y/o marítimo, lo cual debería indicarse, con una frase que denote la falta de datos y/o estudios en aspectos marítimos en referencias topográficas a escala 1: 50,000 o menos.

V. RECOMENDACIONES

- Una vez que se ha podido determinar gráficamente errores en los límites del perfil de costa del cantón San Lorenzo en la carta topográfica **CT-ÑI-E1**, y en las cartas náuticas IOA 100 e IOA 1003, podemos decir que los errores presentados en las cartas náuticas antes descritas deben ser comunicadas al Instituto Oceanográfico de la Armada, para que realice las modificaciones correspondientes, ya que estos límites se han modificado por efectos del transporte de sedimento en la corriente fluvial y por el aporte que las mareas dan para que se consolide este fenómeno. Si bien es cierto en la carta IOA 100 este tipo de error es de carácter gráfico de no concordancia con la carta IOA 1003, en el caso de esta última, este error es demasiado evidente ya que la sedimentación prácticamente se encuentra ocupando una extensa área lineal de los muelles y por lo tanto de acuerdo a las referencias plasmada en la edición al señalar que la mediciones son realizadas en torno a bajamar de sicigia, esto debe ser propuesto como una ayuda a los navegantes para que consideren este fenómeno no como un bajo, sino como una extensión del margen fluvial hacia el canal de acceso al cantón San Lorenzo.
- Oficiar al Instituto Geográfico Militar, para que tome en consideración estos cambios en la graficación de las futuras cartas topográficas, en razón de tornarse este fenómeno natural como una afectación tanto para la navegación terrestre como la fluvial, ya que al presentarse una extensión del margen fluvial hacia el canal de acceso al cantón San Lorenzo, esto quiere decir que la representación de la medición de la sonda de profundidad en el área, para la bajamar de sicigia tiene un valor de cero metros (0 mts.) lo cual es concordante con la actualización de línea de costa en función de fotografía satelital de la zona, donde ya se puede percibir cambios drásticos en la geografía del terreno del área en estudio.

- Para efectos de impacto ambiental, podemos considerar que este cambio natural en cuanto a la línea de costa, y su sedimentación adyacente, puede denotar un cambio de la dirección del canal, ya que el mismo posee un sin número de zonas de reserva de manglar que se asienta en áreas de fondo marino débil, lo que implicaría a futuro el socavamiento de las bases donde nace el manglar, lo que conllevaría a desprender parte de este ecosistema, gracias a que su fondo arenoso al estar en frecuente fricción con la corriente fluvial y por efecto de la marea propia del sector; de esta manera los sólidos de la base del manglar se desplazarán por largas distancias hasta chocar con paredes de acumulación de sedimentos, modificando aún más las líneas de costa del área de estudio.
- Para estudios de ingeniería civil, se debe indicar que este terreno no es apto para el crecimiento urbano ni para la realización de infraestructura alguna, sea esta de madera, bloque o mixta, ya que los sedimentos no están compactados para soportar una carga de sobre presión, lo que se recomienda hacer es un levantamiento de este material hasta una profundidad de 6 metros ya que, a partir de esto iniciar con el relleno sólido, constituido de rocas y tierra de grano mediano, para ir compactando el terreno de manera uniforme y sólida, esta generación homogénea de nuevo terreno, ayudará a la construcción de ambientes urbanos de distracción como son malecones, parques, aceras, calles, etc., pero esto no se recomendaría para la edificación de áreas de vivienda o trabajo como edificios y casas. Sin duda, sobre la extensión de terreno compuesto por sedimentos no es apropiado para la edificación y/o construcción urbana, debemos mencionar adicionalmente que para la construcción de muelles se debe iniciar un estudio sobre el tipo de terreno bajo el área de sedimentación, para que de esta manera se pueda proyectar la profundidad a la cual se debe incrustar los pilotes o dolphins de sujeción del muelle. Por otra parte para la construcción de espigones únicamente se lo deberá hacer arrojando piedras de gran tamaño y peso, apilándolas unas

sobre otras, hasta un nivel no mayor a los tres metros de altura sobre la línea de pleamar más alta de sicigia.

VI. BIBLIOGRAFÍA.

Armada, I. O. (2005). *Derrotero de la Costa Continental e Insular del Ecuador*. Guayaquil: INOCAR.

Azcúnaga, L. H. (2005). Dinámica del transporte de sedimentos coo carga de fondo en el Alto Golfo de California. Tesis . San Luis Potosí.

CHANG, Z. E. (2011). Relación Entre las Oscilaciones del Nivel del Nivel Medio del Mar del Oceano Pacifico y las Variaciones del Nivel del Mar en la Costa del Ecuador. *Tésis para el Título de Oceanógrafo* , 126. GUAYAQUIL, GUAYAS, ECUADOR: Escuela Superior Politecnica del Litoral.

CPCB-SU Nelson Pazmiño. (2009). *Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador, PSE-001-2009*. Quito.

Espinoza, J. (1992). Acta Oceanográfica del Pacífico. *Terremotos Tsunamigénicos en el Ecuador* (p. 8). Guayaquil: INOCAR.

Garro, R. (2012, JUNIO 19). *Diccionario Nautico*. Retrieved JUNIO 19, 2012, from <http://www.paranauticos.com/>

(INOCAR), I. O. (2005). Informe Técnico de Impacto Ambiental Canal de Acceso al Puerto de San Lorenzo. Guayaquil: INOCAR.

Lainez Antonio (2009). Tesis de grado “Relevamiento y Correlación Geológica del Sector Oriental del Puerto de Manta, Provincia de Manabí, Ecuador”. Guayaquil: Escuela Politecnica del Litoral.

Ruiz Lendinez. (2006). Metodología de Adquisición GPS de Elementos Lineales para su uso en el Control de la Calidad Posicional en Cartografía, Universidad de Jaén. España

Moreno J., Solano F. y Mendivez W. (2010). Investigación de los Recursos Bioacuáticos y su Ambiente. Distribución y Abundancia de los Recursos Pesqueros en las Zonas de Manglar. Guayaquil: Instituto Nacional de Pesca