

HOR  
C-2

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**“Enfoque Geodinámico de la Isla Santa Clara del  
Golfo de Guayaquil”**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de



**INGENIERO EN GEOLOGIA**

Presentada por:

**Luis Manuel Moreira Valdiviezo**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**Año 2001**

# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

**“Enfoque Geodinámico de la Isla Santa Clara del Golfo de Guayaquil”**

**TESIS DE GRADO**



Previa a la obtención del Título de:



**INGENIERO EN GEOLOGÍA**

Presentada por:

**Luis Manuel Moreira Valdiviezo**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**



**AÑO**

**2001**



D-26969

## AGRADECIMIENTO

A mis maestros y especialmente al Dr. Stalin Benítez, Director de Tesis, sin cuyo aporte no habría podido realizarse este estudio.

# **DEDICATORIA**

**A LA MEMORIA DE MI PADRE**

**A MI MADRE**

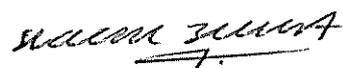
**A MIS TIOS**

**A MIS HERMANOS**

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Edison Navarrete Cuesta  
DECANO DE LA FICT



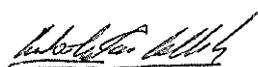
---

Dr. Stalin Benítez Acosta  
DIRECTOR DE TESIS



---

Ing. Gastón Proaño  
VOCAL



---

Ing. Jorge Calle  
VOCAL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

**“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”**

**(Reglamento de Graduación de la ESPOL)**

---

**Luis Manuel Moreira Valdiviezo**

## RESUMEN

La isla Santa Clara es un levantamiento de origen tectónico que se originó en el Pleistoceno Superior como producto de un evento compresivo, que originó también la cordillera Zambapala de la isla Puná. Las rocas que afloran en la isla Santa Clara datan del Plioceno Medio a Superior, y corresponden a la parte inferior de la Formación Puná. Son producto de depósitos detríticos a partir de paleoambientes subacuáticos muy someros predominantemente estuarinos – deltaicos. Existen afloramientos de depósitos más profundos de plataforma interna, y probablemente son más importantes en espesor, pero sus afloramientos han sido reducidos por la erosión.

Las rocas de la isla son poco resistentes a la erosión, su poca cohesión facilita los desprendimientos de bloques y los movimientos en masa. Las lluvias intensas producidas durante los fenómenos de El Niño han generado cambios en la morfología de la isla. Estos cambios incluyen la desaparición del Peñón Norte, el aumento de terrenos deslizados en el Peñón Mayor, de un 14.50% a un 44.37% y la remoción de un tercio del volumen de la isla, todo esto en el período comprendido entre los años 1980 a 2000, período en cual se acentuó el evento mencionado.

## INDICE GENERAL

RESUMEN	II
INDICE GENERAL	III
INDICE DE FIGURAS	IV
INDICE DE FOTOS	V
INDICE DE TABLAS	VI
INDICE DE LAMINAS	VII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Objeto del Estudio.....	4
1.3. Ubicación.....	4
1.4. Accesibilidad.....	6
1.5. Clima, Flora y Fauna.....	7
1.6. Estudios Anteriores.....	10
1.7. Métodos de Estudio.....	11
1.7.1. Trabajos Previos.....	11
1.7.2. Trabajos de Campo.....	11
1.7.3. Trabajos de Gabinete.....	13
1.7.4. Trabajos de Laboratorio.....	13

<b>II.</b>	<b>MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....</b>	<b>19</b>
2.1.	El "Graben Jambelí".....	19
2.2.	La Falla Guayaquil.....	20
2.3.	La Estructura Santa Clara.....	28
<b>III.</b>	<b>ESTRATIGRAFIA LOCAL.....</b>	<b>30</b>
3.1.	Sedimentología.....	30
3.1.1.	Areniscas.....	31
3.1.2.	Limolitas.....	31
3.1.3.	Arcillolitas.....	32
3.1.4.	Conglomerados.....	32
3.1.5.	Nódulos Calcáreos.....	33
3.1.6.	Coquinas y Bancos de Conchas.....	34
3.1.7.	Estructuras Sedimentarias.....	35
3.2.	Paleocorrientes.....	40
3.3.	Petrografía y Area Fuente.....	42
3.4.	Estratigrafía y Análisis Secuencial.....	47
3.5.	Micropaleontología: Foraminíferos, Nanofósiles Calcáreos y Palinomorfos.....	66
3.6.	Macropaleontología.....	67
3.7.	Correlación Estratigráfica con el Campo Amistad .....	71

<b>IV. GEODINÁMICA EXTERNA.....</b>	<b>73</b>
<b>4.1. Geomorfología.....</b>	<b>73</b>
<b>4.2. Procesos Litorales.....</b>	<b>84</b>
<b>4.3. Evolución Geomorfológica.....</b>	<b>92</b>
<b>V. GEODINAMICA INTERNA.....</b>	<b>103</b>
<b>5.1. Estructuras Tectónicas.....</b>	<b>103</b>
<b>5.2. Análisis Tectónico.....</b>	<b>105</b>
<b>5.3. Modelo de Esfuerzos.....</b>	<b>106</b>
<b>5.4. Correlación Estructural .....</b>	<b>109</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>112</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>116</b>

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1.	Mapa de Ubicación.....	5
FIGURA 2.1.	Configuración tectónica de la falla Guayaquil – Dolores - Romeral (Shepherd y Moberly, 1975).....	23
FIGURA 2.2.	Carta Estructural del Golfo de Guayaquil y la Península de Santa Elena (Lions Renaud, 1995).....	26
FIGURA 2.3.	Evolución tectónica del Golfo de Guayaquil (Lions Renaud, 1995).....	27
FIGURA 2.4.	Modelo numérico de terreno de la batimetría del Golfo de Guayaquil y bloque diagrama interpretativo (Lions Renaud, 1995).....	29
FIGURA 3.1.	Sentidos de paleocorrientes a partir de medidas de estratificaciones cruzadas en cubetas.....	40
FIGURA 3.2.	Sentidos de paleocorrientes a partir de medidas de estratificaciones cruzadas tabulares.....	41
FIGURA 3.3.	Diagramas ternarios de emplazamiento tectónico para areniscas de Dickinson, 1983.....	46
FIGURA 3.4.	Columna Estratigráfica de la Isla Santa Clara .....	51
FIGURA 3.5.	Columna Estratigráfica de la Isla Santa Clara .....	52
FIGURA 3.6.	Columna Estratigráfica de la Isla Santa Clara .....	53
FIGURA 3.7.	Columna Estratigráfica de la Isla Santa Clara .....	54
FIGURA 3.8.	Columna Estratigráfica de la Isla Santa Clara .....	55
FIGURA 3.9.	Columna Estratigráfica de la Isla Santa Clara .....	56
FIGURA 3.10.	Columna Estratigráfica de la Isla Santa Clara .....	57
FIGURA 3.11.	Columna Estratigráfica de la Isla Santa Clara .....	58
FIGURA 3.12.	Columna Estratigráfica de la Isla Santa Clara .....	59
FIGURA 3.13.	Columna Estratigráfica de la Isla Santa Clara .....	60
FIGURA 3.14.	Columna Estratigráfica de la Isla Santa Clara .....	61

FIGURA 3.15.	Columna Estratigráfica de la Isla Santa Clara .....	62
FIGURA 3.16.	Modelo estratigráfico de secuencia progradante para un estuario-delta, según secuencias interpretadas de la isla Santa Clara del Golfo de Guayaquil.....	65
FIGURA 3.17	Correlación estratigráfica entre la columna levantada en la isla Santa Clara y la del pozo Amistad 4 proporcionada por EDC.....	72
FIGURA 4.1.	Mapa índice de los terrenos deslizados del Peñón Mayor.....	78
FIGURA 4.2.	Corte explicativo del levantamiento de una terraza por deslizamiento. Sin escala.....	81
FIGURA 4.3.	Distribución de las corrientes de deriva litoral e identificación de procesos de erosión-depositación producidos en la playa.....	86
FIGURA 4.4.	Perfil de deslizamientos según las suposiciones hechas para simplificar el cálculo de volúmenes deslizados, presentes en el Peñón Mayor .....	95
FIGURA 4.5.	Diagrama porcentual de las áreas de las unidades geomorfológicas de la isla Santa Clara para 1980.....	97
FIGURA 4.6.	Diagrama porcentual de las áreas de las unidades geomorfológicas de la isla Santa Clara para el 2000.....	100
FIGURA 4.7.	Comparación de dos cortes topográficos hechos sobre una misma línea a partir de los mapas topográficos de 1980 y 2000.....	101
FIGURA 4.8.	Comparación planimétrica (1980-2000) de los peñones de la isla Santa Clara.....	102
FIGURA 5.1.	Fallas y diaclasas en proyección estereográfica.....	107



<b>FIGURA 5.2.</b>	<b>Diagrama de contornos según la concentración de polos, en la red estereográfica.....</b>	<b>107</b>
<b>FIGURA 5.3.</b>	<b>Planos promedios de las dos familias de fallas identificadas en la figura 5.2.....</b>	
<b>FIGURA 5.4.</b>	<b>Interpretación de paleoesfuerzos, según método de fallas conjugadas y orientación inferida de la megafalla Guayaquil para las inmediaciones de la isla Santa Clara..</b>	<b>108</b>
<b>FIGURA 5.5.</b>	<b>Correlación Estructural de las islas Puná y Santa Clara....</b>	<b>111</b>

## INDICE DE FOTOS

FOTO 1.	Campamento. Peñón Mayor, lado Suroriental.....	6
FOTO 2.	Fragatas anidando en la zona alta del Peñón Mayor (agosto del 2000).....	8
FOTO 3.	Zona alta del Peñón Mayor. (1980).....	9
FOTO 4.	Pelícano anidando en el Peñón Mayor .....	10
FOTO 5.	Lobo marino hembra sobre las rocas.....	11
FOTO 6.	Conglomerado sobre superficie erosiva en el lado oriental del Peñón Mayor.....	33
FOTO 7.	Estrato de areniscas finas con pequeños lentes coquinoideos, subyaciendo a un estrato de coquinas de 1 metro de potencia aproximada.....	35
FOTO 8.	Laminaciones cruzadas tabulares paralelas en una arenisca de grano fino.....	36
FOTO 9.	Estratificaciones cruzadas tipo cubetas aflorando en el Peñón Sur.....	36
FOTO 10.	Laminaciones paralelas onduladas en una arenisca grano fino aflorando en el extremo Norte del Peñón Mayor.....	37
FOTO 11.	Estratificación flaser en el Peñón Mayor.....	37
FOTO 12.	Figura de escape de agua en areniscas medias.....	39
FOTO 13.	Figura de escape de agua semejando una estructura "flame".	39
FOTO 14.	Madera fósil en contacto entre una arenisca media sobre una superficie erosiva y las limolitas de lagoon subyacentes..	49
FOTO 15.	Playa arenosa al Norte de la isla Santa Clara.....	75
FOTO 16.	Playa gravosa entre el Peñón Mayor y los peñones norteños.	76
FOTO 17.	Borde de terreno deslizado sobre la playa.....	77
FOTO 18.	Terraza levantada por deslizamiento en la punta Norte del Peñón Mayor.....	82

<b>FOTO 19.</b>	<b>Peñones del Norte. Septiembre del 2000.....</b>	<b>96</b>
<b>FOTO 20.</b>	<b>Panorámica de la isla Santa Clara tomada en 1980 en donde se puede apreciar el desaparecido Peñón Norte.....</b>	<b>96</b>
<b>FOTO 21.</b>	<b>Peñones Norteños. Foto tomada en 1980 en donde se puede apreciar el desaparecido Peñón Norte.....</b>	<b>97</b>
<b>FOTO 22.</b>	<b>Falla principal disturbando los estratos del bloque Suroriental .....</b>	<b>104</b>
<b>FOTO 23.</b>	<b>Clasto roto encontrado en la zona de falla asociada a la falla principal.....</b>	<b>104</b>
<b>FOTO 24.</b>	<b>Estratos dislocados por fallas de movimiento aparentemente normal.....</b>	<b>106</b>

## INDICE GENERAL

RESUMEN	II
INDICE GENERAL	III
INDICE DE FIGURAS	IV
INDICE DE FOTOS	V
INDICE DE TABLAS	VI
INDICE DE LAMINAS	VII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Objeto del Estudio.....	4
1.3. Ubicación.....	4
1.4. Accesibilidad.....	6
1.5. Clima, Flora y Fauna.....	7
1.6. Estudios Anteriores.....	10
1.7. Métodos de Estudio.....	11
1.7.1. Trabajos Previos.....	11
1.7.2. Trabajos de Campo.....	11
1.7.3. Trabajos de Gabinete.....	13
1.7.4. Trabajos de Laboratorio.....	13

## INDICE DE LAMINAS

LAMINA 1. MAPA TOPOGRÁFICO DE LA ISLA SANTA CLARA DEL GOLFO DE GUAYAQUIL. ESCALA 1:2.000.

LAMINA 2. MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA ISLA SANTA CLARA DEL GOLFO DE GUAYAQUIL. ESCALA 1:2.000.

LAMINA 3. MAPA GEOLÓGICO DE LA ISLA SANTA CLARA DEL GOLFO DE GUAYAQUIL. ESCALA 1:2.000.

# CAPITULO 1



## 1. INTRODUCCIÓN

El Golfo de Guayaquil, es uno de los rasgos morfológicos más importantes que existen en la costa occidental del continente sudamericano. Su origen está relacionado al movimiento de la falla Guayaquil, y como tal, tiene gran relevancia en el contexto geológico del Continente y del Ecuador. La mayor parte de los estudios geofísicos y geológicos del golfo proviene de empresas petroleras, las mismas que realizaron campañas exploratorias, debido a que el golfo presenta amplias posibilidades para la ocurrencia de acumulaciones hidrocarburíferas.



### 1.1. Antecedentes.

En 1955, IEPEC (International Ecuadorian Petroleum Company), perfora el pozo Lechuza – 1 en la isla Puná. El pozo fue seco.



En marzo del 2000, EDC (Energy Development Corporation) logra la instalación exitosa de una plataforma de perforación y sigue un plan de exploración y explotación que llevará a la utilización del denominado "gas del Golfo" desde los inicios del año 2002.

La Isla Santa Clara (figura 1.1.) tiene una gran importancia en aspectos de monitoreo del impacto ambiental de las operaciones de EDC, empresa concesionaria encargada de la exploración y explotación del campo Amistad en el BLOQUE 3, por el hecho de estar a sólo 11 Km al Norte de la plataforma de perforación "AMISTAD A".

La isla Santa Clara, conocida también como la isla del Muerto es la manifestación superficial de un alto estructural. Se compone de un grupo de peñones rocosos unidos por una barra de arena y fragmentos rocosos de varios tamaños que componen una plataforma de abrasión que se manifiesta en baja marea. Estos peñones de la isla sufren un fuerte proceso de erosión, evidenciado por pescadores y gente que conoce la isla desde hace algún tiempo. La ocurrencia de varios fenómenos de "El Niño" en las dos últimas décadas, han incidido directamente, acelerando los procesos de erosión en la isla. Por este motivo, es imprescindible un estudio geodinámico de la isla

geodinámico de la isla con el fin de diferenciar los fenómenos naturales de los causados por la interferencia humana.

Como parte de la realización de ese estudio, EDC firmó un convenio con la ESPOL y con el autor de esta tesis.

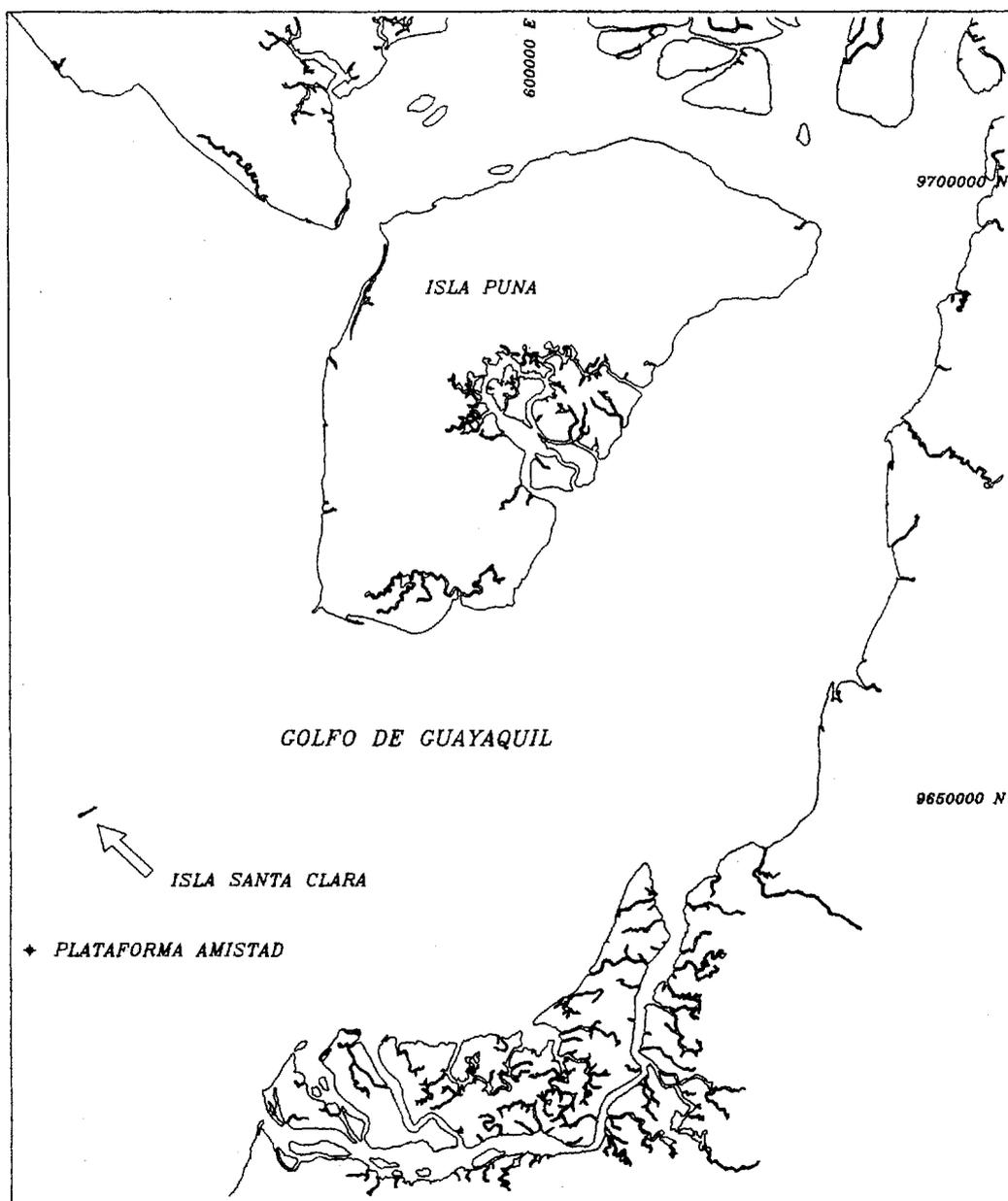
## **1.2. Objeto del Estudio.**

- 1. Revisión estratigráfica detallada con nuevas metodologías sedimentológicas y micropaleontológicas.**
- 2. Revisión de los datos tectónicos de la isla Santa Clara y su reinterpretación en función de los nuevos conocimientos de tectónica regional adquiridos en el Golfo de Guayaquil.**
- 3. Efectuar una evaluación de los cambios geomorfológicos operados en la isla en los últimos 20 años.**

## **1.3. Ubicación.**

La isla Santa Clara se encuentra ubicada en el Golfo de Guayaquil, al SO del Ecuador, a  $03^{\circ} 10' 30''$  de latitud Sur y  $80^{\circ} 26' 36''$  de longitud Oeste (Coordenadas del Faro), a 125 Km. al S30°O de Guayaquil, a

50 Km. al N75°O de Puerto Bolívar y a 11,75 Km. al N20E de la plataforma Amistad A de EDC (Mapa de ubicación, figura 1.1).

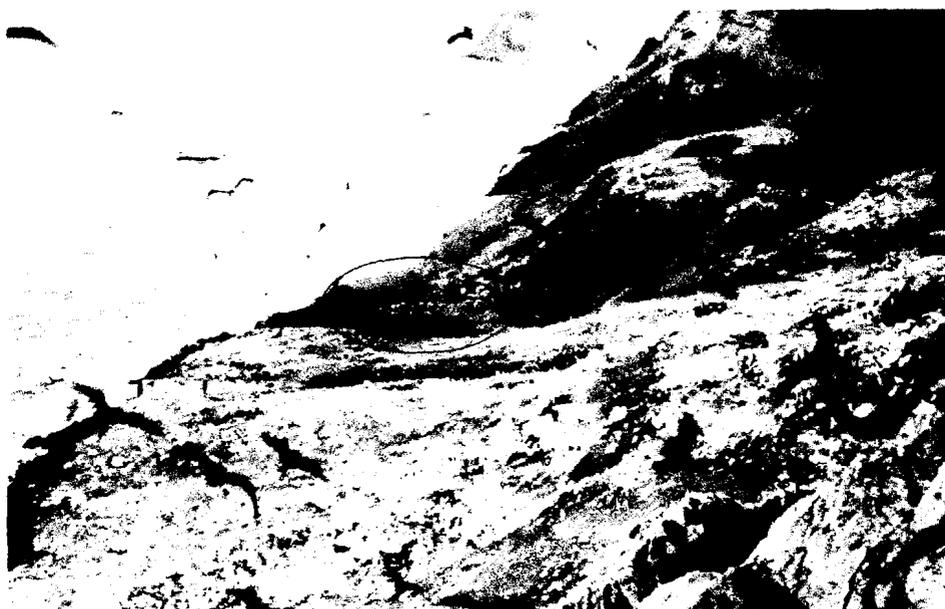


**FIGURA 1.1. MAPA DE UBICACIÓN**

#### **1.4. Accesibilidad.**

Para poder llegar a la isla se hizo uso de lanchas de fibra de vidrio, alquiladas en Puerto Bolívar, las cuales eran pequeñas y encallables en los bancos de arena de la playa. Sin embargo, las condiciones para desembarcar en la isla no son del todo favorables, debido al gran número de fragmentos de roca, que dificultan no sólo que los botes se acerquen; sino también, el desembarco de personas y carga.

El mejor lugar para acampar corresponde a un terreno deslizado en la cara Suroriental del Peñón Mayor, por tener la superficie más plana y suficientemente lejos del mar (foto 1).



**FOTO 1.** Campamento. Peñón Mayor, lado Suroriental.

Los barcos pesqueros de poco calado que operan en la zona son capaces de llegar a menos de 70 m de la isla incluso en baja marea.

### **1.5. Clima, Flora y Fauna.**

Hasta el año 1982 el clima de la isla era muy seco, producido tal vez por la mayor incidencia de las corriente de Humbolt. Esta corriente de agua fría restringe la evaporación del agua de mar y la humedad de la atmósfera, disminuyendo las precipitaciones. Al respecto Richard Vera escribió en 1980, lo siguiente: "Las precipitaciones son escasas en los meses de invierno y ausentes en los de verano".

En los últimos 20 años se ha producido un notable incremento de la humedad, lo que se nota en la cantidad de plantas que han crecido (ver foto 2 y 3). En este mismo período toda la zona costera ecuatoriana ha sufrido de intensas alteraciones climáticas denominadas fenómenos de "El Niño". Se trata de un fenómeno climático producido por calentamientos anómalos del mar en la zona ecuatorial del Pacífico Oriental, que se producen periódicamente y favorecen las precipitaciones. Actualmente, las precipitaciones son escasas en verano y ligeras en invierno.

La flora está conformada por arbustos y árboles pequeños, y cactus de buen tamaño que alcanzan los 4 metros de altura en ciertas partes del Peñón Mayor. Gran parte de estos árboles y arbustos están actualmente secos y forman una maraña que dificulta el paso, especialmente alrededor de los drenajes secos de la isla. Es notable el crecimiento de pasto verde en las zonas en donde hay acuíferos locales.



**FOTO 2.** Fragatas anidando en la zona alta del Peñón Mayor (agosto del 2000).



**FOTO 3.** Zona alta del Peñón Mayor. (1980).

La fauna terrestre es pobre, se compone de insectos como moscas, polillas, pequeños escarabajos; arañas y alacranes; lagartijas de color verde que alcanzan los 40 cm de largo de cabeza a cola; culebras de color gris pequeñas que no sobrepasan los 60 cm.

La fauna marina se compone especialmente de aves, con un número impresionante de individuos especialmente de piqueros patas azules y fragatas. Los pelícanos son menos numerosos, probablemente por la no presencia de una buena cantidad de árboles grandes donde suelen anidar (ver foto 4).

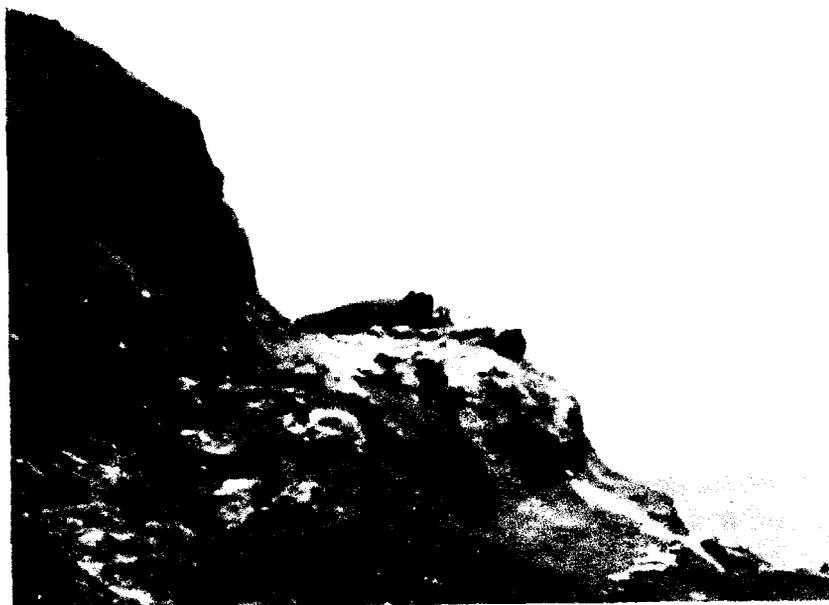


**FOTO 4.** Pelicano anidando en el lado Noroccidental del Peñón Mayor.

En la playa se pudo observar varias especies de cangrejos, moluscos y algunos lobos marinos (ver foto 5).

## **1.6. Estudios Anteriores.**

El único trabajo geológico existente se lo realizó en 1980 – 1981 y fue publicado en el año 1982 como la tesis de grado del ingeniero geólogo Richard Vera Vélez, cuyo título es: “Geología detallada de la isla Santa Clara”.



**FOTO 5.** Lobo marino hembra sobre las rocas.

## **1.7. Métodos de estudio.**

La realización de esta tesis comprendió cuatro grandes fases:

### **1.7.1. Trabajos Previos:**

- Revisión Bibliográfica.
- Programación de salidas de campo.

### **1.7.2. Trabajo de Campo.**

- *Levantamiento topográfico.-*

Se realizó una poligonal, que empezó en la playa, la cual fue bordeando el Peñón Mayor y el Peñón Sur; luego, se hicieron dos

extensiones, una en la parte superior del Peñón Mayor y otra en la parte Norte de la isla. A partir de esta poligonal, se fueron levantando los detalles tomando especial atención a la forma de los terrenos deslizados. Para la realización de esta fase se contó con un taquímetro digital marca Leica modelo TC 600, y el resultado se presenta en la lámina 1: Mapa Topográfico de la Isla Santa Clara, escala 1:2.000.



- *Mapeo Geológico.-*

Se lo hizo durante y posterior al levantamiento topográfico, con el fin de usar la topografía como ayuda al levantamiento de la columna estratigráfica y a la toma de muestras. El mapeo geológico fue posible y sin obstáculos en la mayor parte de los acantilados expuestos en el Peñón Mayor y el Peñón Sur. Sin embargo, existieron partes tapadas por recientes deslizamientos; por lo que en la parte Norte los afloramientos se reducen notoriamente. Son raros los afloramientos de rocas en la playa, generalmente los estratos están a alrededor de 0.5 metros bajo una cubierta de arena y gravas decimétricas a métricas.



### **1.7.3. Trabajos de Gabinete.**

Consistió en diferentes fases según como se fueron recogiendo los datos de campo, a saber:

- Cálculo y dibujo topográfico.
- Compilación y dibujo de columna estratigráfica.
- Dibujo de mapa geomorfológico y cálculo de áreas.
- Digitalización de mapa topográfico 1:1.000 de Tesis de Richard Vera (1980); y comparación con los datos actuales.
- Cálculo de áreas perdidas y ganadas por deslizamientos o erosión.
- Cálculo de volúmenes erosionados y deslizados.
- Compilación de datos estructurales, análisis e interpretación.
- Compilación de datos estratigráficos, análisis e interpretación de paleocorrientes y paleoambientes.

### **1.7.4. Trabajos de Laboratorio.**

Los trabajos de laboratorio se realizaron en su mayor parte en las instalaciones del Centro de Investigaciones Geológicas – Guayaquil (CIGG) de Petroecuador, también se trabajó en los laboratorios de Petrografía y de Teledetección Espacial de la FICT – ESPOL; y comprendieron los siguientes trabajos:

- *Análisis Micropaleontológico.*-

Para el análisis micropaleontológico se utilizaron tres métodos:

**Foraminíferos:**

Análisis efectuado por Martha Ordóñez del CIGG (Petroecuador, Guayaquil). Para la preparación de muestras de foraminíferos, se realizó el tratamiento siguiente:

1. Se coloca la muestra de roca y se la lava con agua pura y detergente.
2. Si la muestra contiene arcillas se le añade una solución de 10-15% de  $H_2O_2$  más algunas gotas de amoníaco.
3. Se hace pasar el sedimento por tamices, se recolecta la fracción de muestra que queda en cada tamiz y se seca en bandejas refractarias.
4. Los residuos secos se colocan en una cubeta de extracción de fondo oscuro y cuadriculado.
5. Los microfósiles son levantados con un pincel fino humedecido y colocados en porta microfósiles de cartón ordenados según taxonomía y pegados con goma de tragacanto.
6. Para la identificación se lleva a un estereo microscopio.

**Palinomorfos:**

Análisis efectuado por Italo Zambrano y Johnny Suárez del CIGG (Petroecuador, Guayaquil). Para la preparación de muestras de palinomorfos, se realizó el tratamiento siguiente:

1. Se toma 25 a 50 gr. de muestra.
2. Se ataca con una solución al 20% de ácido clorhídrico (ClH) por 2 horas.
3. Luego de lavado, se coloca en un vaso de polipropileno y se lo ataca con una solución de ácido fluorhídrico (FH) al 20% por 12 horas.
4. Luego de lavado, pasa a un proceso de flotación con una solución de bromuro de zinc o cloruro de zinc, cuya densidad sea mayor a 2.0, para extraer la materia orgánica.
5. Si es necesario se oxida la muestra con solución "Sholtz" (ácido nítrico + clorato de potasio a saturación) entre 2 a 5 minutos.
6. Luego de lavar la muestra se la ataca con hidróxido de potasio para eliminar ácidos húmicos, durante 4 a 5 minutos.
7. Se ataca una vez más con ácido clorhídrico y se centrifuga durante 5 minutos.
8. Se colocan 1 a 2 gotas en un cubreobjeto de vidrio, se seca y se pega un portaobjeto con permant.

9. Para la identificación se lleva a un microscopio de luz transmitida.

**Nanofósiles calcáreos:**

Análisis efectuado por Nelson Jiménez del CIGG (Petroecuador, Guayaquil). Para observar e identificar nanofósiles calcáreos se requiere preparar una frottis (slide manchado), de la siguiente manera:

1. Se escoge un trozo pequeño de la mitad de una arveja y se introduce en un frasco de agua destilada, hasta cubrirlo.
2. Se coloca el conjunto en un agitador hasta que se logre disgregar.
3. Se agrega cellocize.
4. Se coloca sobre un cubreobjeto unas cuantas gotas de solución.
5. Se seca en un plato refractario, hasta que quede una película muy fina.
6. Se le agrega dos gotas de permant.
7. Se calienta en una estufa.

- **Análisis Petrográfico.-**

Se elaboraron 11 láminas delgadas. En las siguientes líneas se presenta un resumen del método de elaboración:

1. Se escoge una porción lo más representativa posible de la roca.
2. Se corta de la roca una pastilla de aproximadamente 10 cm de largo por 5 de ancho y con un espesor variable. Para este paso se usa una máquina cortadora, que usa agua como lubricante del corte.
3. Se reduce el grosor de la pastilla con la máquina microcortadora.
4. Se pule la cara a adherirse al portaobjeto de vidrio usando la máquina pulidora.
5. Se pule esta cara en dos vidrios usando dos polvos, a saber:
  - Silicon Carbide Powder, GRIT 240
  - Aluminum Oxide Powder (14.5  $\mu$ )
6. Se calienta la pastilla usando un plato caliente eléctrico (CORNING HOT PLATE) y se le añade cemento termoplástico, luego se la enfría sobre una franela húmeda.
7. Se coloca un portaobjeto de vidrio en el plato y se le añade cemento termoplástico y en un rápido movimiento se le adhiere

a la pastilla, presionando con moderación para evitar la formación de burbujas.

8. Se deja secar el cemento por espacio de 1 día, luego de lo cual, se usa la máquina desvastadora, para reducir el espesor de la pastilla hasta dejarla como una lámina de  $0.3 \mu$ .
9. Se pule en los vidrios con los polvos para darle el acabado final.
10. Si la muestra es demasiado friable se la muele y se la esparce sobre una porción de bálsamo de Canadá derretida sobre un portaobjetos de vidrio y luego de endurecerse la mezcla es tratada normalmente, sometiéndola a los pasos anteriores desde el número 3.
11. Se le añade unas gotas de aceite de inmersión y se le coloca el cubreobjeto.
12. Para el análisis petrográfico se usó un microscopios de luz polarizada marca Leitz, especialmente con los lentes de 16 y 32 aumentos.

## CAPITULO 2

### **2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL**

#### **2.1. El “Graben Jambelí”.**

Con este nombre se conoce al área que ocupan la Isla Puná, el Canal de Jambelí y la parte Sur del Golfo de Guayaquil. En su parte Norte se comunica con la Cuenca Progreso con relaciones estructurales no bien definidas. En su eje se han identificado una serie de altos estructurales; la cuenca ha sido objeto de prospección hidrocarburífera (Benítez, 1990).

En realidad, se trata de una cuenca alargada compuesta por altos y bajos estructurales ocasionados por esfuerzos transtensionales y transpresionales que tienen origen en el movimiento de la falla Guayaquil.

El “Graben Jambelí” actúa como cuenca desde el Mioceno inferior. Contiene un paquete sedimentario que alcanza los 12 Km de espesor máximo. Actualmente recibe los aportes sedimentarios del río Guayas.

Estando relacionado con la cuenca Progreso se estima una historia deposicional similar, siendo sus secuencias estratigráficas semejantes. Se han encontrado las mismas formaciones de la Cuenca Progreso aflorando en la Isla Puná con excepción de la Fm. Zapotal del Mioceno inferior – Oligoceno terminal (?). (Benítez, 1990).

En el área subsidente se han perforado principalmente las series más jóvenes del Mioceno superior al Reciente y solo en los pozos Golfo de Guayaquil-1 y Amistad Sur-1 se alcanzaron rocas del Mioceno inferior. (Benítez, 1990).

## **2.2. La Falla Guayaquil.**

En el contexto regional Suramericano, se conoce que los Andes septentrionales pertenecientes a Ecuador y Colombia se diferencian de los Andes centrales del Ecuador y Perú en el carácter de las rocas sobre las cuales se levantan. Los primeros se formaron sobre rocas

interpretadas como corteza oceánica y los últimos sobre rocas de corteza continental.

En Ecuador, la corteza oceánica toleítica es llamada formación Piñón, Complejo Piñón o Complejo Igneo Básico (Goosens and Rose, 1973) y aflora en algunos sectores de la Costa ecuatoriana como en la cordillera Chongón – Colonche, siendo esta formación el basamento de la Costa central y septentrional del Ecuador.

El extremo Noroccidental de Perú y la parte Suroccidental del Ecuador comprende rocas sedimentarias de edad cretácica y cenozoica sobre basamento de rocas ígneas y metamórficas de edades que van desde el Cretácico hasta el Paleozoico, que han sido interpretadas como basamento de tipo corteza continental.

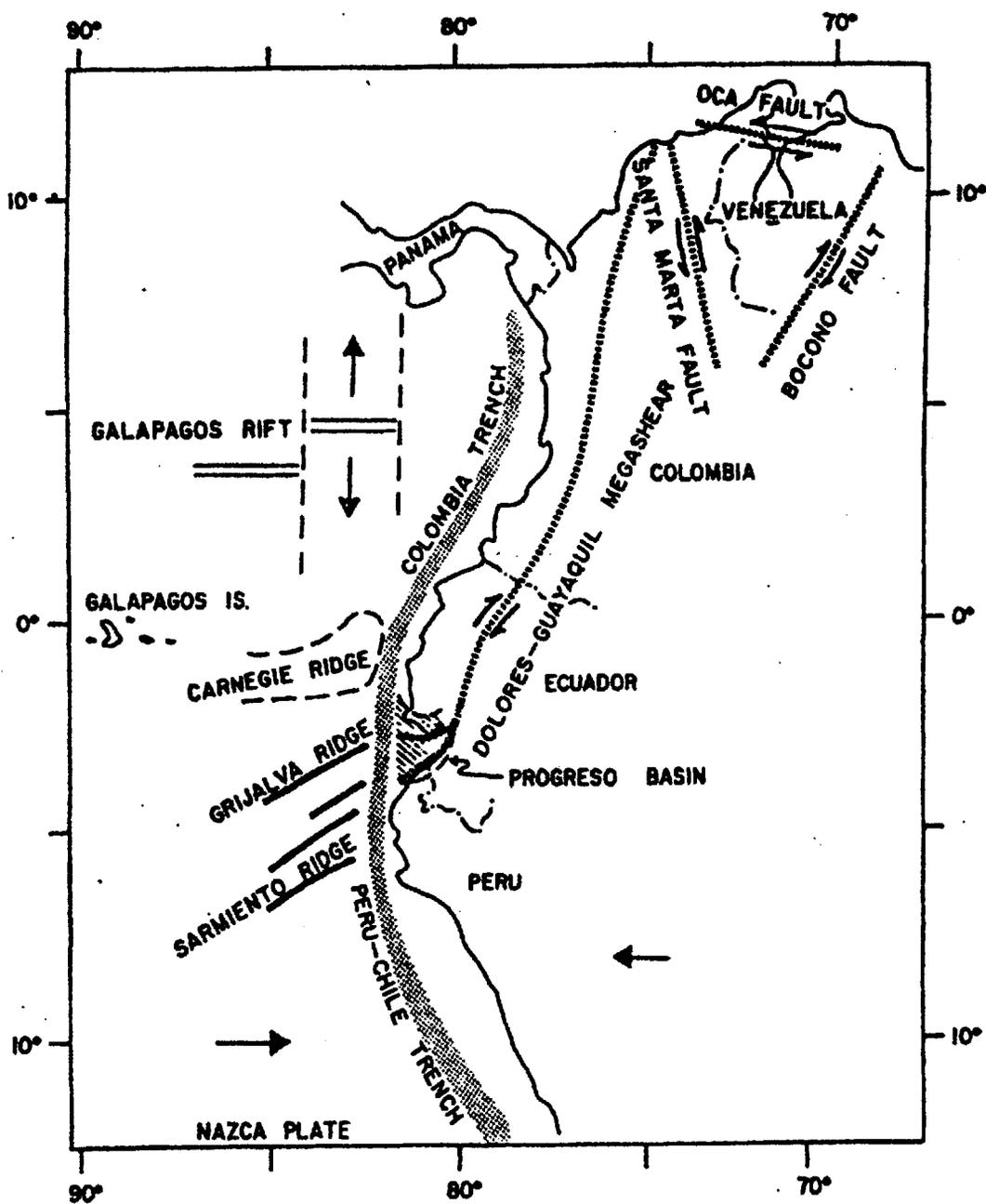
Esta discontinuidad de basamentos se interpretó como causada por la falla Guayaquil, la misma que fue propuesta según esto como nuevo límite de placas. Los epicentros de los terremotos apoyan a esta interpretación por cuanto se alinean con la parte Sur de la falla, así; la costa de Ecuador y Colombia aparece como una miniplaca separada (Case et al, 1971; Campbell, 1974).

En 1960 Marchant menciona la falla Guayaquil como posible origen del Golfo de Guayaquil. Posteriormente, Case et al (1971, 1973) unieron la falla Guayaquil de Marchant con la falla Romeral de Colombia dándole una mayor relevancia regional como un sistema transcurrente dextral (figura 2.1). Campbell (1975) sugiere que el Golfo de Guayaquil es formado por la interacción de las mega fallas Túmbez - Guyana y Dolores – Guayaquil.

Shepherd y Moberly (1975) proyectaron la falla Dolores - Guayaquil a través del margen continental llegando a la pared interna de la fosa Perú - Chile frente al Golfo de Guayaquil, extendiéndola a partir de la zona de falla mapeada en tierra, quedando la falla con una configuración como la mostrada en la figura 2.1

En el Golfo de Guayaquil, se puede inferir un movimiento dextral de cerca de 80 a 100 Km. (Shepherd, 1975).

Megard y otros (1980) postula que la megafalla Guayaquil es una falla subvertical postcolisional que está sobreimpuesta a la sutura de basamentos a partir de 2°S hacia el Norte, probablemente desde el inicio del Terciario.



**FIGURA 2.1.** Configuración tectónica de la Falla Guayaquil-Dolores-Romeral (Shepperd y Moberly, 1975).

La falla Dolores - Romeral presenta movimiento sinistral por lo menos en el sector Norte de Colombia. Según Bourgois et al (1982) la Cordillera Occidental de Colombia se habría acrecionado por obducción de dirección SE a fines del cretácico, tesis que es apoyada por Kellog (1983) con modelos gravimétricos. Por otro lado, varios estudios sobre el extremo nororiental de la cordillera Oriental de Colombia determinan que la falla Boconó que sirve de límite con el cratón Guyanés, presenta un movimiento dextral (Pennington, 1981, Aggarwal, 1983; Schubert, 1980; Dewey y Pindell, 1985), el mismo que continuaría a lo largo del frente de cabalgamiento sub-andino en Colombia y se transformaría en un sistema de fallas transcurrentes que cortan el Subandino y la Cordillera Real enlazándose en la parte Norte del Ecuador con la prolongación de la falla Guayaquil (Benitez, 1990).

El comienzo del Mioceno está marcado por un cambio de la cinemática regional. La aparición de la dorsal del Pacífico Este y la creación de la placa Cocos, cambian completamente las direcciones de convergencia de las placas. El vector desplazamiento de la placa Nazca al nivel del Ecuador se torna en N80E, lo que provoca un cambio completo del régimen de esfuerzos. Así, se puede hacer remontar a este período el inicio del juego dextral de la falla

Guayaquil-Dolores, que inicia la migración del bloque costero ecuatoriano hacia el Norte. (Lions Renaud, 1995).

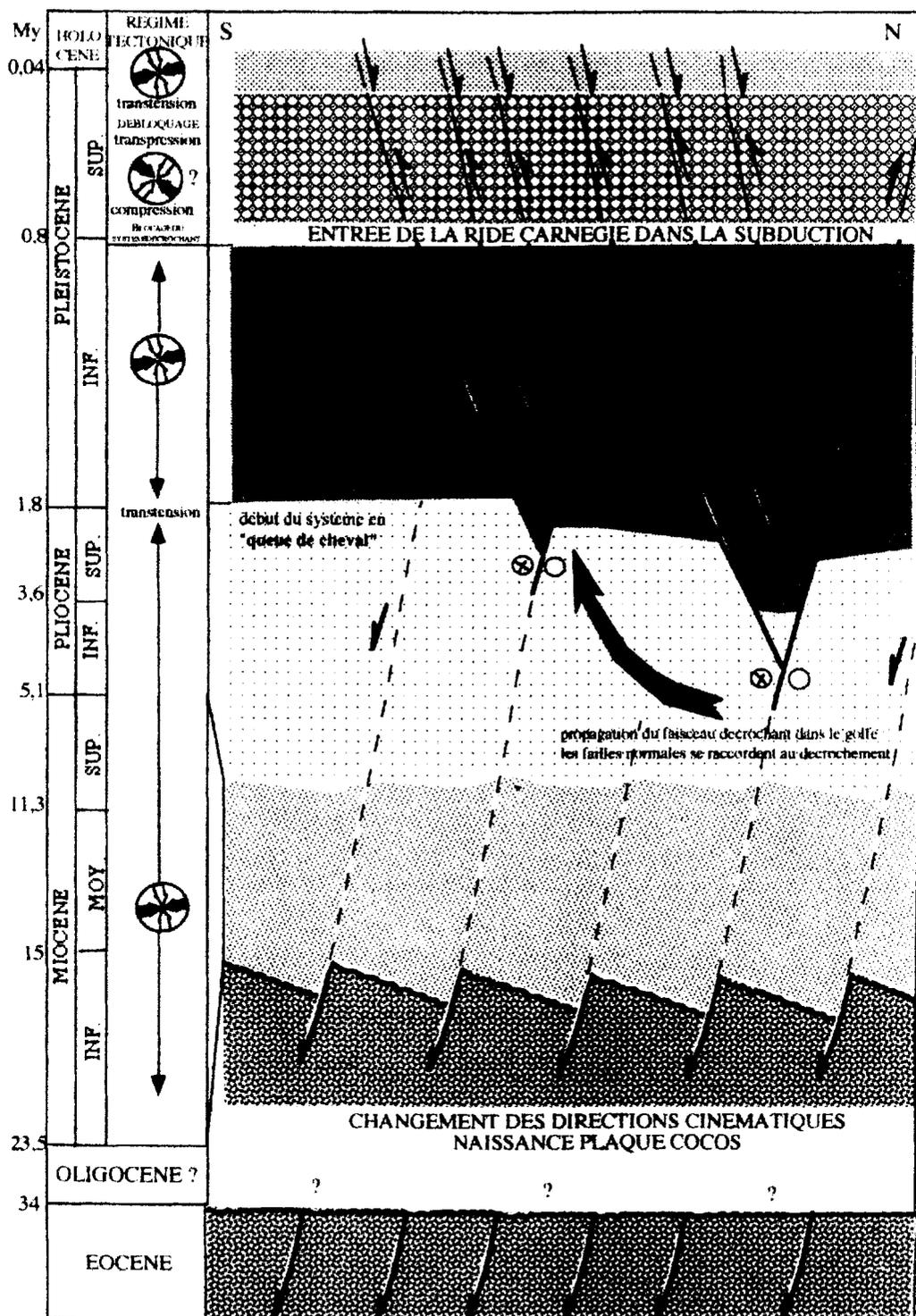
La falla Dolores-Guayaquil termina en el Golfo de Guayaquil con una compleja estructura de "cola de caballo" que le permitió la apertura del Golfo en transtensión (ver figura 2.2).

El sistema transcurrente se unió a las grandes fallas normales de dirección N110 de edad antemiocénica delimitando bloques basculados y permitiendo la difusión de esfuerzos, configurándose de esta manera la estructura en "cola de caballo". (Lions Renaud, 1995).

Durante el Pleistoceno superior se produce un evento tectónico compresivo que se caracteriza en el Golfo por una inversión de las fallas de dirección N40-45. Las estructuras extensivas generadas por el régimen transtensivo van a jugar en fallas inversas. La cordillera Zambapala, orientada N45 corresponde a una de estas estructuras compresivas. (Lions Renaud, 1995).



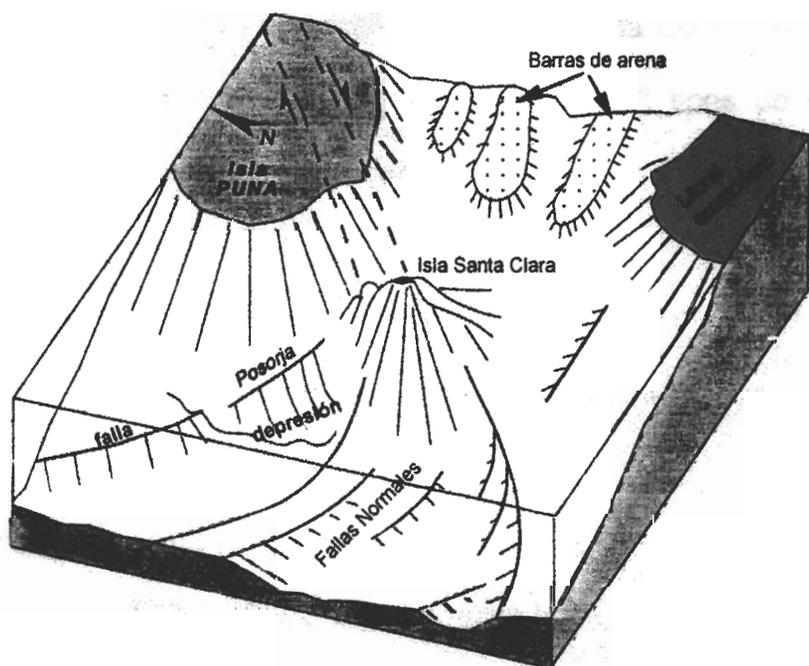
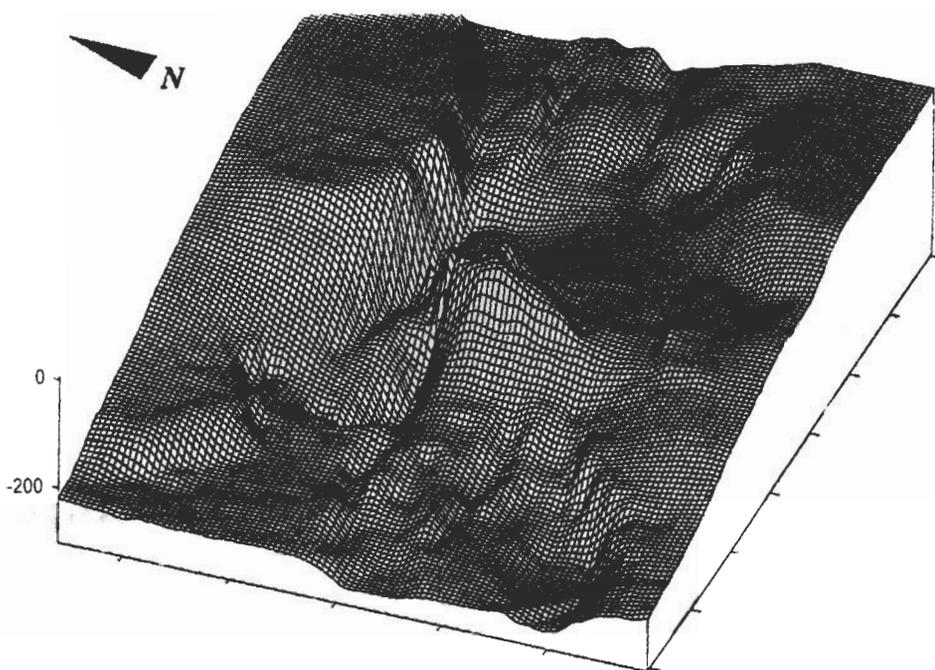
**FIGURA 2.2.** Carta estructural del Golfo de Guayaquil y la Península de Santa Elena. (Lions Renaud, 1995).



**FIGURA 2.3.** Evolución tectónica del Golfo de Guayaquil (Lions, Renaud, 1995).

### **2.3 . La Estructura Santa Clara.**

La isla Santa Clara es la manifestación de un alto estructural producido a consecuencia del evento compresivo del Pleistoceno superior, que invirtió el movimiento de ciertas fallas de orientación promedio N45E, asociadas a la megafalla Guayaquil. La estructura Santa Clara es un resultado del mismo evento compresivo que produjo la Cordillera Zambapala en la isla Puná y por lo tanto es una continuación de dicha cordillera. Ver figura 2.4.



**FIGURA 2.4.** Modelo numérico de terreno de la batimetría del Golfo de Guayaquil y bloque diagrama interpretativo. (Lions Renaud, 1995).

## CAPITULO 3

### **3. ESTRATIGRAFIA LOCAL.**

#### **3.1. Sedimentología.**

Durante el análisis estratigráfico de la isla Santa Clara (ver subcapítulo 3.4. y Figura 3.4-3.15) se han identificado 3 tipos de secuencias según el ambiente de depositación sea:

- Marino Plataforma Interna.
- Estuarino – Deltaico.
- Barras de marea o desembocadura.

Teniendo presente esta división, en las siguientes páginas se describe la sedimentología de las rocas que afloran en la isla.

### **3.1.1. Areniscas.**

Las rocas que afloran en la isla Santa Clara se componen en su mayoría de areniscas medias a finas de matriz limosa o arcillosa, depositadas en un medio subacuático de poca profundidad, generalmente correspondiente a la zona intertidal.

Las areniscas finas a muy finas aparecen finamente laminadas y con estratificación cruzada tabular paralela. Conforman los depósitos más frecuentes en las secuencias de tipo estuarino-deltaico.

Las areniscas medias a finas conforman cuerpos potentes interpretados como barras de marea o de desembocadura; y, las areniscas gruesas constituyen pequeñas capas de hasta 20 cm de potencia dentro de estas barras y sobreyacen a superficies erosivas de importancia local.

### **3.1.2. Limolitas.**

Son también rocas comunes, pero sin alcanzar la frecuencia de las areniscas. Ocurren generalmente laminadas, aunque se encontraron también masivas o con ondulitas de 2 cm de amplitud. Aparecen con frecuencia en los depósitos estuarino – deltaicos, intercalados con areniscas o arcillolitas dependiendo del lugar que ocupen en la

secuencia. En ocasiones presentan comunes vetillas de yeso, haciendo presumir su origen a partir de un lagoon o llano de marea.

Se presentan también en secuencias de barras, pero donde alcanzan mayor expresión es entre los depósitos marinos, con espesores superiores a los 7 metros.



### 3.1.3. Arcillolitas.

Son relativamente raras. Marcan los niveles tope de las secuencias estuarino - deltaicas. Constituyen en general, paleodepósitos de mínima profundidad, intercalados con material leñoso y azufre precipitado, cuando se trata de depósitos de pantano. Se presentan en la mayoría de los casos como horizontes oscuros y masivos, aunque en ocasiones se observan laminaciones finas. No presentan restos de conchas, ni foraminíferos; pero en cambio, son ricos en polen y esporas, lo cual evidencia un alto aporte de sedimentos continentales.



### 3.1.4. Conglomerados.

Son también escasos y marcan, en cambio, los niveles basales de las secuencias estuarino - deltaicas. Aparecen siempre sobre superficies erosivas (foto 6) y el tamaño de los clastos que los conforman es



mayor mientras más irregulares sean estas superficies. Estos conglomerados presentan una matriz de arenas medias con una incipiente cementación calcárea. Los clastos son generalmente de cuarzo lechoso, areniscas, fragmentos andesíticos y restos de conchas.



**FOTO 6.** Conglomerado sobre superficie erosiva en el lado oriental del Peñón Mayor.

### **3.1.5. Nódulos Calcáreos.**

Aparecen con una frecuencia regular a lo largo de toda la columna. Generalmente son concreciones discontinuas dentro de rocas porosas y permeables como las areniscas o no tan permeables como las

limolitas arenosas. Ocurren pocos casos de horizontes nodulares continuos, siempre entre dos cuerpos de diferente litología, el más notorio se encuentra en la base de la segunda secuencia y se lo puede observar en la punta Sur del Peñón Mayor. (metro 30 de columna estratigráfica, figura 3.5.)

### 3.1.6. *Coquinas y bancos de conchas.*

Las conchas y fragmentos de conchas están presentes en toda la columna. Cuando aparecen conchas enteras se trata de sedimentos de aguas someras depositados *in situ*, cuando aparecen en fragmentos, se los considera como elementos transportados.

Las coquinas aparecen con mayor frecuencia en las secuencias marinas de plataforma interna que corresponden a la parte superior de la columna estratigráfica y se localizan en el lado Sureste de la falla principal (Ver Mapa Geológico). La mayoría de estas coquinas son bancos de ostras. El banco de ostras más importante aflora en la punta Norte del Peñón Mayor al Noroeste de la falla y alcanza los 2 metros de potencia y está constituida por fragmentos de ostras centimétricas a decimétricas cementadas.

En las secuencias deltaico – estuarinas y de barras son frecuentes la ocurrencia de conchas y fragmentos de conchas como clastos transportados (ver foto 7). Existe también un horizonte que presenta un lente coquinoideo de 10 cm de potencia que consiste de fragmentos de conchas milimétricos en una matriz de arena gruesa con estratificación cruzada (metro 30,5 de columna estratigráfica, figura 3.5) y aflora en la punta Sur del Peñón Mayor. Por estas características sedimentológicas se trataría de un depósito de playa.



**FOTO 7.** Estrato de areniscas finas con pequeños lentes coquinoideos, subyaciendo a un estrato de coquinas de 1 metro de potencia aproximada.

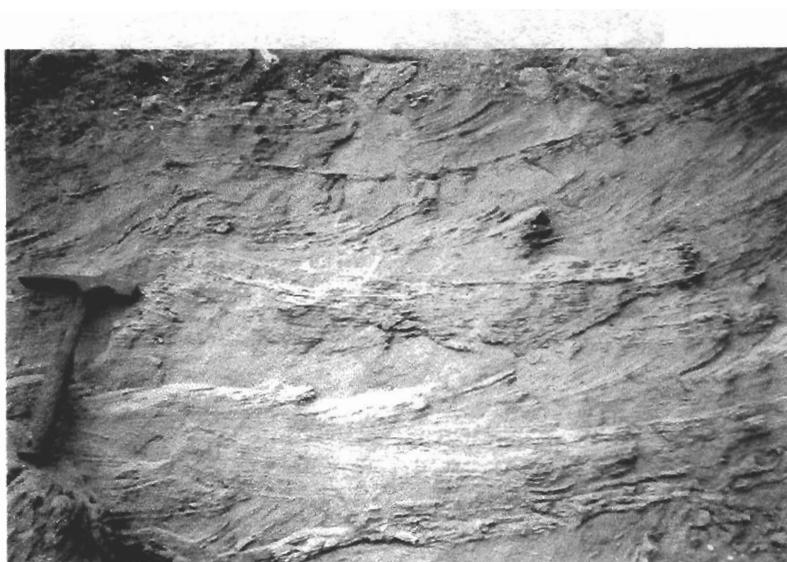
### 3.1.7. Estructuras Sedimentarias.

Las estructuras sedimentarias más comunes son las laminaciones paralelas que aparecen en casi todas las litologías desde areniscas

medias hasta arcillolitas. Mientras más fino el grano de la roca más fina también es la laminación.



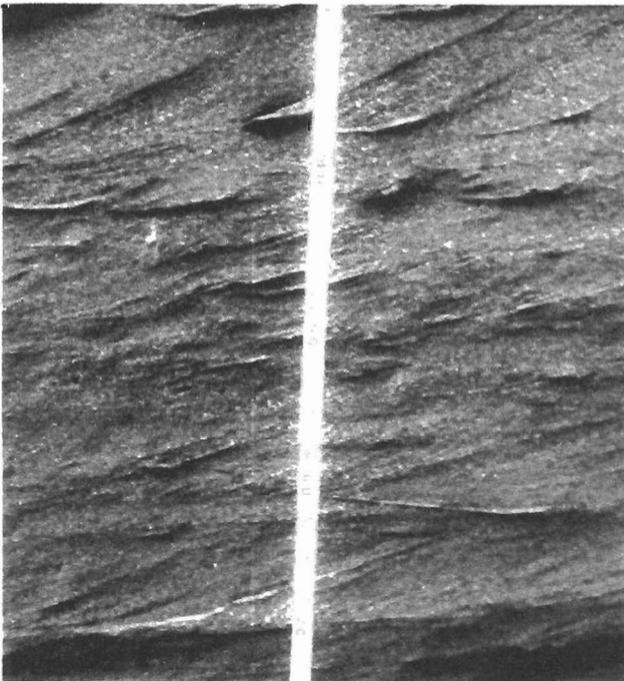
**FOTO 8.** Laminaciones cruzadas tabulares paralelas en una arenisca de grano fino.



**FOTO 9.** Estratificaciones cruzadas tipo cubetas aflorando en el Peñón Sur.



**FOTO 10.** Laminaciones paralelas onduladas en una arenisca grano fino aflorando en el extremo Norte del Peñón Mayor.



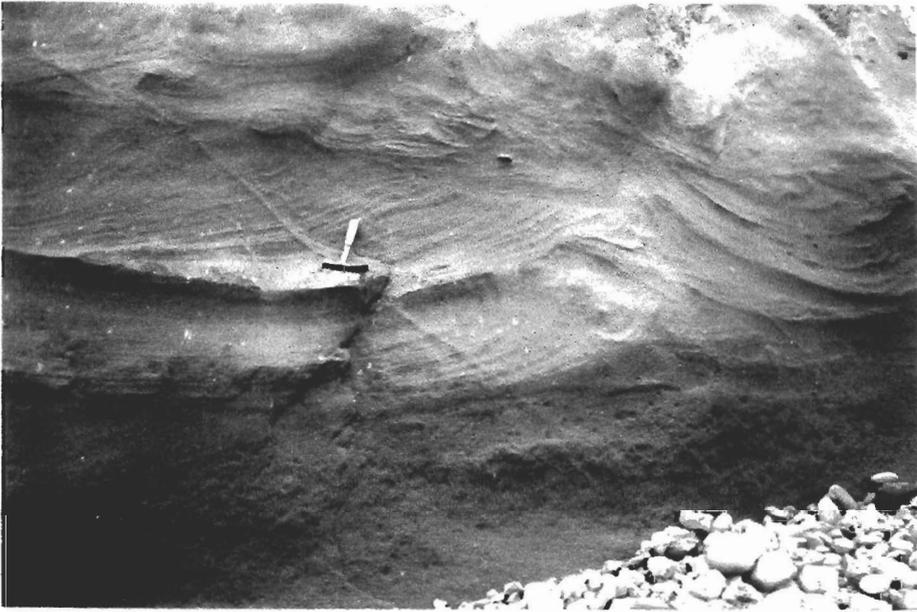
**FOTO 11.** Estratificación flaser en el Peñón Mayor.

Las estratificaciones cruzadas son muy frecuentes, especialmente las tabulares paralelas (foto 8) que se dan en las areniscas, y dan una dirección de paleocorriente según su buzamiento. Otros tipos de estratificación cruzada menos frecuentes son la estratificación en cubetas (foto 9), las ondulitas, laminaciones onduladas paralelas (foto 10) y flaser (foto 11) entre las más importantes.

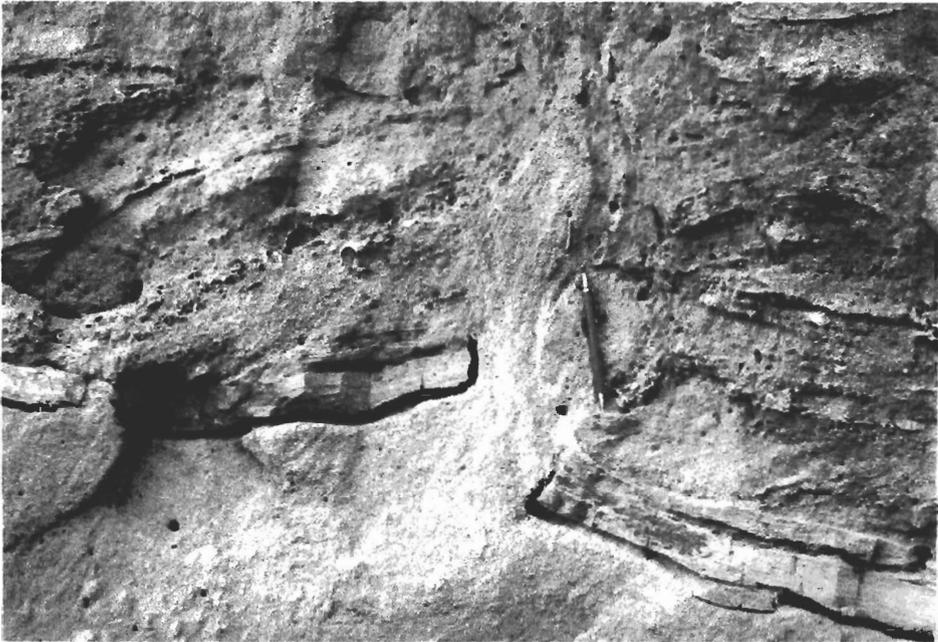
Otras estructuras comunes son las de flujo de escape de agua (ver Foto 12 y 13), las que tienen origen en el movimiento diagenético de agua a presión suficiente para causar rupturas en ciertos niveles de rocas incipientemente compactados. Estos flujos pueden ser producidos por:

- Presión litostática.
- Movimientos sísmicos.

Las rocas de la isla Santa Clara no son formadas a pendiente y profundidad suficiente para que se produzcan movimientos gravitacionales en masa; ni tampoco se ha encontrado ningún nivel que posea rasgos sedimentológicos de un movimiento de este tipo, por lo que esto queda descartado.



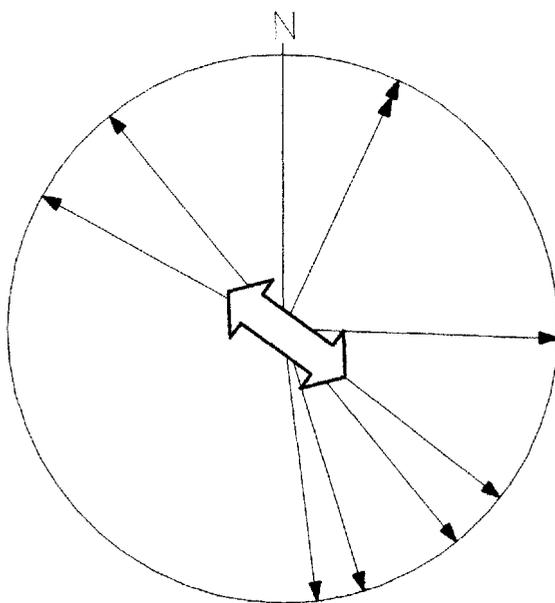
**Foto 12:** Figura de escape de agua en areniscas medias.



**FOTO 13:** Figura de escape de agua semejando una estructura "flame". Se nota como la arenisca de **grano fino** es inyectada en la arenisca de **grano medio** que la sobreyace. Un horizonte de **limolitas** es dislocado. Posible origen sísmico.

### 3.2. Paleocorrientes.

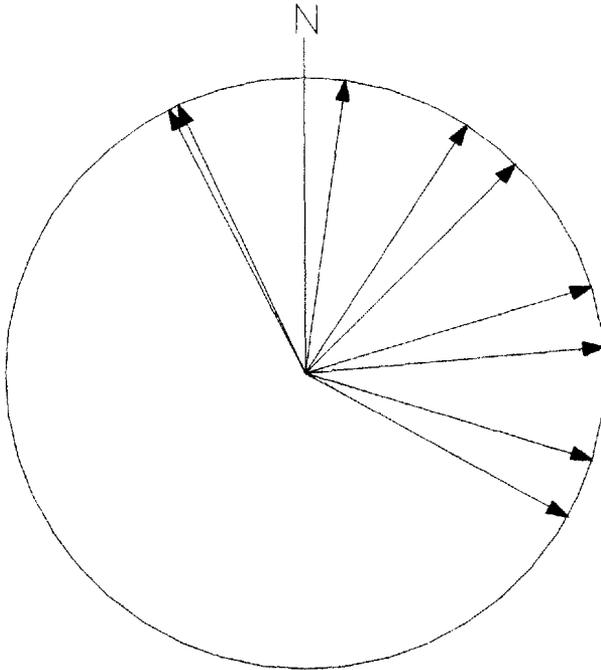
Para el análisis de paleocorrientes se hicieron análisis individuales por tipos de estratificación cruzadas. Se separaron las estratificaciones tabulares del resto. Las estratificaciones en cubetas fueron intersectadas en pares y esas intersecciones, corrigiendo el buzamiento del estrato, fueron tomadas en cuenta como dirección paleocorrientes.



**FIGURA 3.1.** Sentidos de paleocorrientes a partir de medidas de estratificaciones cruzadas en cubetas.

De la figura 3.1. se puede determinar una dirección preferencial S45E a lo largo del cual se definiría un canal de mareas dominado por flujos

y reflujos de corrientes de marea que determinan un sistema bipolar. Además, existe una dirección N25E que corresponde a un paleocanal secundario que aportaba al principal.



**FIGURA 3.2.** Sentidos de paleocorrientes a partir de medidas de estratificaciones cruzadas tabulares.

De la figura 3.2. se puede inferir una dirección predominantemente NE. Hay que tomar en cuenta que este tipo de estratificación (cruzada tabular) es característico de ambientes de playas, en donde los principales agentes son el oleaje y las corrientes de deriva. En este sentido, la figura 3.2. hace pensar en una paleo costa de dirección NO – SE.

### **3.3. Petrografía y Area Fuente.**

Se realizaron 11 láminas delgadas y se hizo el análisis granulométrico y petrográfico de 9 de ellas, las cuales están ubicadas en la columna estratigráfica con la letra L seguida de un número de identificación.

Debido a la poca consolidación de las rocas de la isla se prefirió en lo posible tomar muestras a partir de nódulos calcáreos, con el fin de facilitar la elaboración de láminas delgadas.

Las muestras provenientes de rocas friables tuvieron un tratamiento especial, siendo pulverizadas y luego el polvo resultante fue añadido a una película de bálsamo de Canadá (ver procedimientos de laboratorio página 17), por lo cual la porosidad y la textura fueron alteradas y no se las tomó en cuenta.

Los objetivos principales del análisis petrográfico de estas muestras fueron:

1. Determinar la granulometría de la muestra.
2. Determinar la composición de las rocas con el fin de clasificarlas según granulometría y composición.

3. Determinar la composición de los granos del tamaño arena para el uso de los diagramas ternarios de emplazamiento tectónico de área fuente de Dickinson.
4. Determinar la calidad de los cementos y las condiciones cohesivas de los materiales que componen las rocas.

Para el análisis granulométrico se midieron alrededor de 50 granos, y se tomó el promedio de dichas observaciones como el tamaño de grano de la muestra. Esto pudo conducir a una tendencia de los resultados hacia las fracciones finas por la presencia en todas las muestras de limos gruesos, los cuales podrían también ser considerados como matriz.

Para el análisis de composición mineral se hizo un conteo de alrededor de 80 granos minerales, dividiendo las composiciones en cuarzo, feldespato, líticos, matriz/cemento y otros; como se muestra en el APÉNDICE A en donde se presenta un resumen del análisis de cada lámina delgada. Finalmente, las muestras tomadas de areniscas (L1, L2, L3, L5, L6, L7) se llevaron a los diagramas de clasificación de emplazamiento tectónico del área fuente de Dickinson (1983) como se muestra en las figura 3.4.

La primera característica que salta a la vista de las rocas de la isla es su carácter friable. Bajo el microscopio se observa una ausencia casi absoluta de cemento; las muestras que fueron tomadas a partir de un nódulo resultaron con un porcentaje alto de cemento calcáreo.

En las muestras a partir de nódulos, el contacto entre los granos es puntual o simplemente no existe, indicando una porosidad primaria de gran magnitud (sobre el 40%). Esto es el resultado de un pobre proceso de compactación y de un ligero enterramiento.

La matriz que presentan las areniscas friables muestreadas, es generalmente arcillosa o limosa, y a veces algo calcárea. La muestra L5 es una muestra elaborada a partir de la matriz de un conglomerado, y resultó ser una arena de grano medio con pequeños granos de calcita precipitados en las paredes de sus poros.

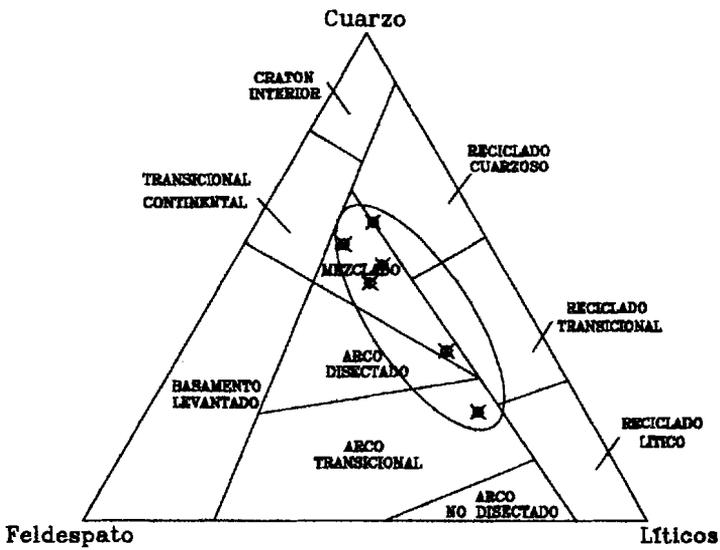
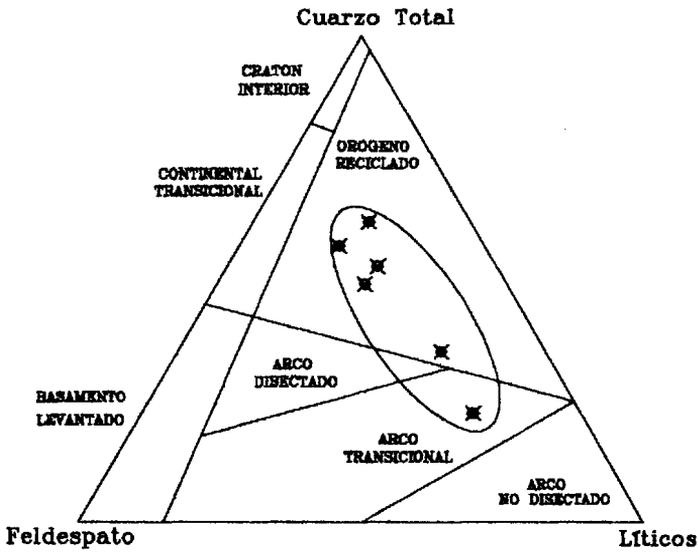
En general los granos de cuarzo son los más grandes de los granos que componen las rocas y son limpios, angulares, de extinción recta, con bordes irregulares o rectos y generalmente poseen una forma alargada. Ciertos granos de cuarzo presentaron texturas propias del metamorfismo.

Los feldespatos se encuentran en granos alargados y angulares, casi nunca están maclados, y por lo general, son potásicos y se encuentran alterados o con un reemplazamiento parcial por arcillas.

Los granos de fragmentos líticos son generalmente chert o sillexita manchadas probablemente por la presencia de arcillas u óxidos de hierro.

Ciertas muestras presentaron una gran abundancia de micas muscovitas, de tamaño milimétrico y microscópico. Además, se encontraron epidotas, cloritas, anfíboles, y pirita en trazas.

En cuanto al emplazamiento tectónico, las muestras caen en los campos de orógeno reciclado, arco transicional y mezclado en la figura 3.3. Esta clasificación se pudo ver alterada por la dificultad de diferenciar entre los feldespatos potásicos y los granos de cuarzo. Si esto es así, los resultados tenderían hacia los campos de arco disectado y arco transicional.



**FIGURA 3.3.** Diagramas ternarios de emplazamiento tectónico para areniscas de Dickinson, 1983.

Según la figura 3.3. los sedimentos que conforman las rocas de la isla provienen de una variedad de fuentes que van desde un arco volcánico a orógeno reciclado y con un ligero aporte continental. El arco volcánico correspondería a la Cordillera Occidental, mientras que el orógeno reciclado y el aporte continental pueden deberse a la cercanía de el complejo metamórfico de El Oro. El material detrítico estudiado habría sido aportado tanto por el río Guayas, como por otros ríos provenientes del Sur y Sureste, los mismos que desaparecieron al subir el nivel del mar.

#### **3.4. Estratigrafía y Análisis Secuencial.**

A partir de la columna estratigráfica (figuras 3.4 a 3.15) se han determinado alrededor de 4 secuencias completas grano-estrato decrecientes de carácter estuarino - deltaico, las cuales definen una repetición vertical de eventos.

Estas secuencias estuarino-deltaicas están separadas por otras de tipo barra de desembocadura o marea.

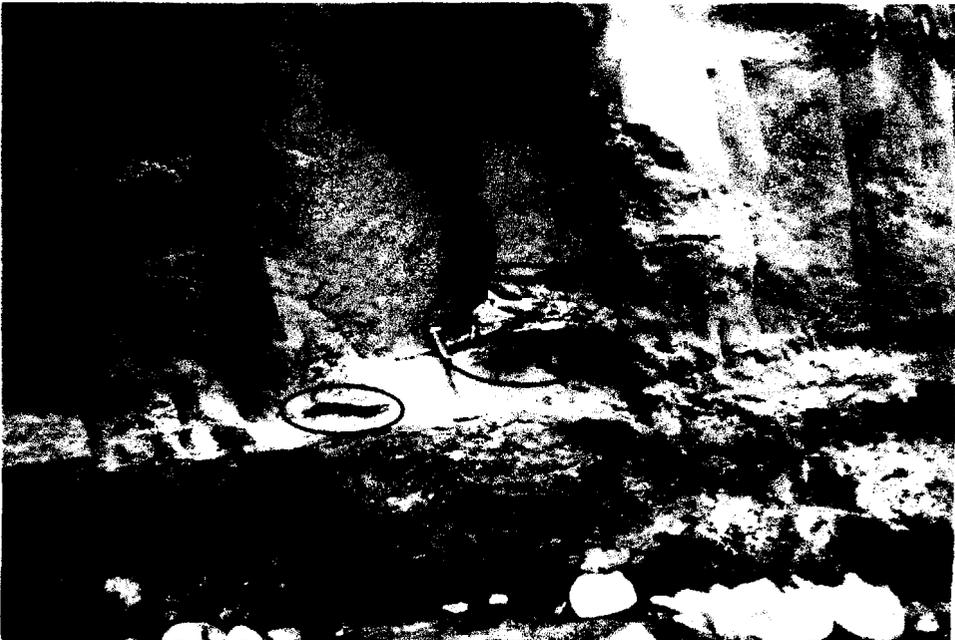
La primera secuencia estuarino-deltaica (metros 3 a 14 de columna estratigráfica, figura 3.4), comienza en un ambiente de canal de marea, con arenas potentes y abundantes estructuras de escape de

agua, estratificación cruzada en cubetas y tabular. Continúa con capas intercaladas de arenisca, limos y arcillas, con fina laminación horizontal, que se interpretan como de llano de marea. Finalmente termina con una arcillolita color café oscuro con ocurrencia de yeso, lo que podría representar un depósito de lagoon.

La segunda secuencia estuarino - deltaica (metros 31 a 48 de columna estratigráfica, figuras 3.5 y 3.6), comienza con un probable ambiente de canal de marea con depósitos potentes de arena gruesa y media, estratificación cruzada en cubetas y figuras de escape de agua muy frecuentes, luego arenas y limos laminados lo que representaría llanos de marea, y un "hard ground", que definiría un depósito de playa, y varias capas de hasta 15 cm de arcillolitas negras con alto contenido de fragmentos de madera y azufre intercalados.

La tercera secuencia estuarino - deltaica (metros 48 a 68 de columna estratigráfica, figuras 3.6 y 3.7) es similar a la que sobreyace, pero sus depósitos de arenas son más potentes, y contiene capas de areniscas masivas que podrían representar pequeñas barras de marea intercaladas.

La cuarta y última secuencia estuarino – deltaica (metros 83 a 95 de la columna estratigráfica, figura 3.8), empieza con un depósito de canal de marea que consisten en un conglomerado con estratificación cruzada tabular y muy frecuentes figuras de escape de agua y luego arenas laminadas y arenas intercaladas con limolitas que representan un llano de marea.



**FOTO 14.** Madera fósil en contacto entre una arenisca media sobre una superficie erosiva y las limolitas de lagoon subyacentes. Observar el plano de intercambio químico Azufre-óxido de hierro.

Las secuencias estuarino – deltaicas generalmente empiezan con una superficie erosiva y un conglomerado o estrato de arenisca gruesa (foto 6 y 14). Estos niveles basales predeterminan un evento que

puede tener tres orígenes: tectónico, eustático, o un cambio lateral en el curso del río que aporta los sedimentos. Generalmente terminan con una arcillolita oscura o algún depósito supratidal.

En la parte superior de la columna (metros 148 en adelante, (figuras 3.11 a 3.15), las secuencias cambian gradualmente hacia un ambiente de tipo marino somero de plataforma interna, con un mayor predominio de litologías finas, especialmente limolitas y frecuentes bancos de ostras, con conchas enteras.

Del estudio de las secuencias estratigráficas de la isla Santa Clara y comparándolas con otros ejemplos bibliográficos de ambientes sedimentarios similares, se ha elaborado un modelo de secuencia estratigráfica que describe las sucesiones subambientales que se dan en una ambiente típico de estuario – delta dominado por mareas como el del Río Guayas.

En las siguientes líneas se describe y discute el modelo propuesto y presentado en la figura 3.16.

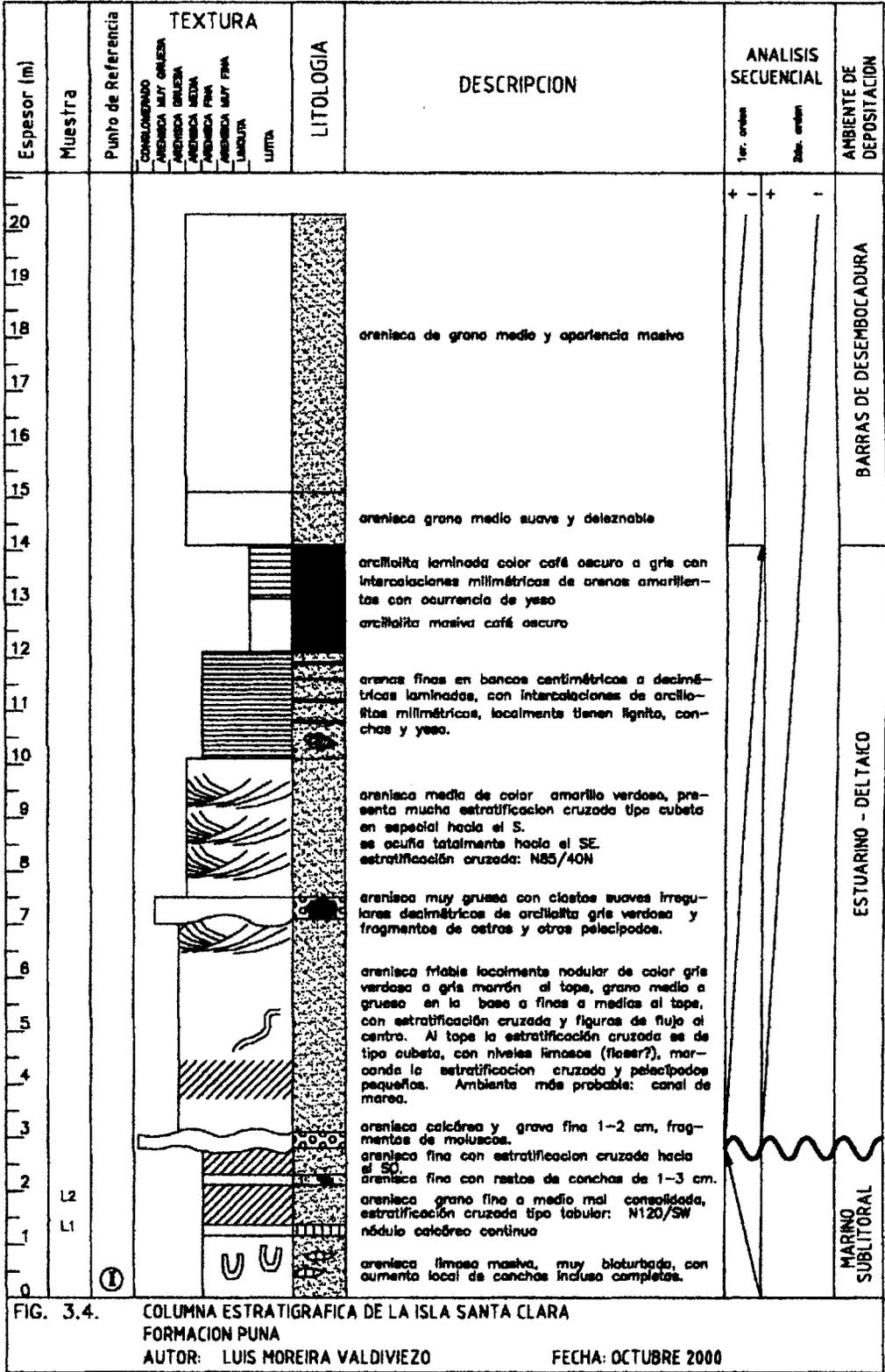


FIG. 3.4. COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA ISLA SANTA CLARA FORMACION PUNA

AUTOR: LUIS MOREIRA VALDIVIEZO

FECHA: OCTUBRE 2000

Los puntos de referencia están ubicados en la Lámina 3: Mapa Geológico de la Isla Santa Clara

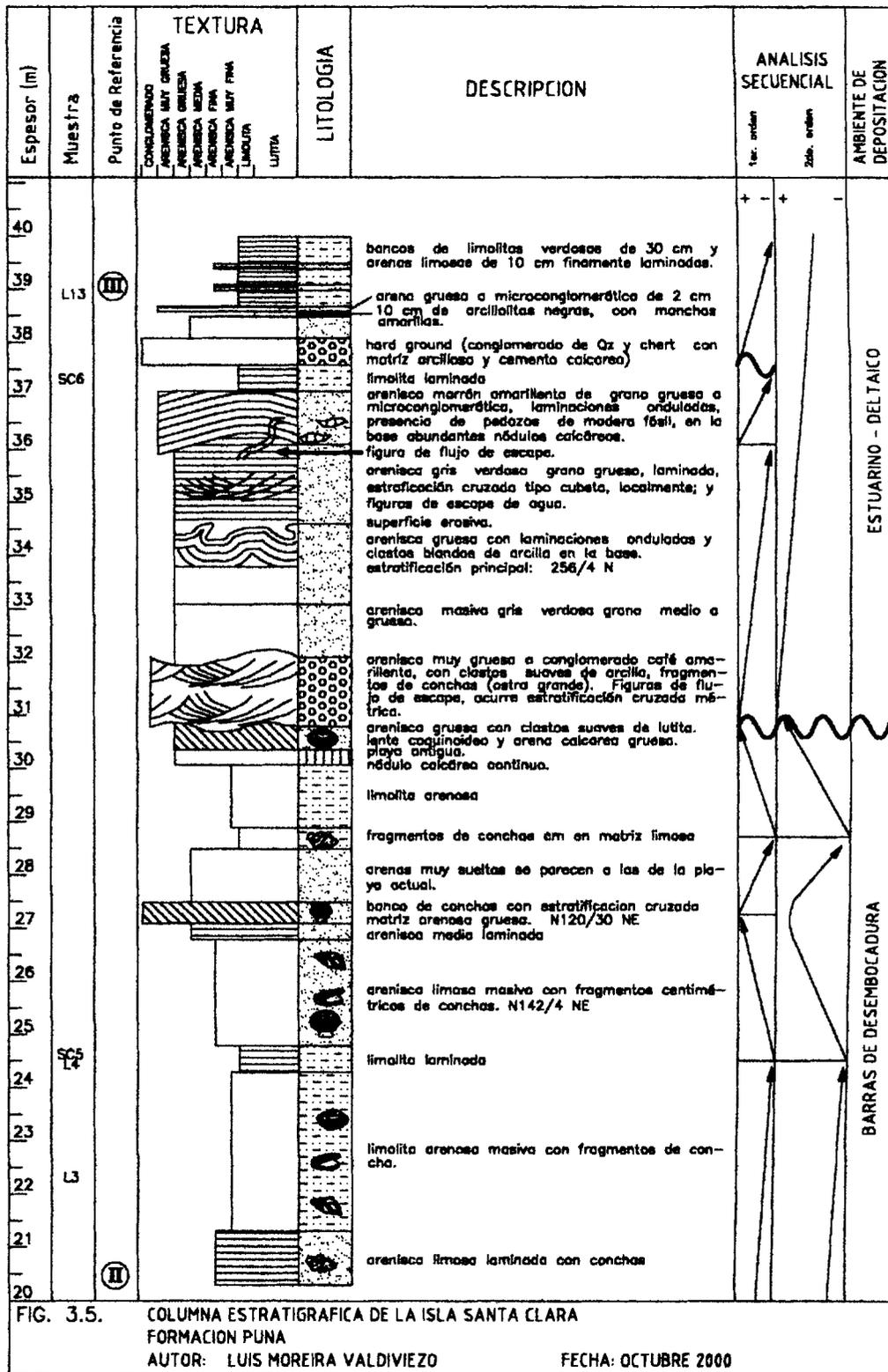


FIG. 3.5. COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA ISLA SANTA CLARA FORMACION PUNA

AUTOR: LUIS MOREIRA VALDIVIEZO

FECHA: OCTUBRE 2000

Los puntos de referencia están ubicados en la Lámina 3: Mapa Geológico de la Isla Santa Clara

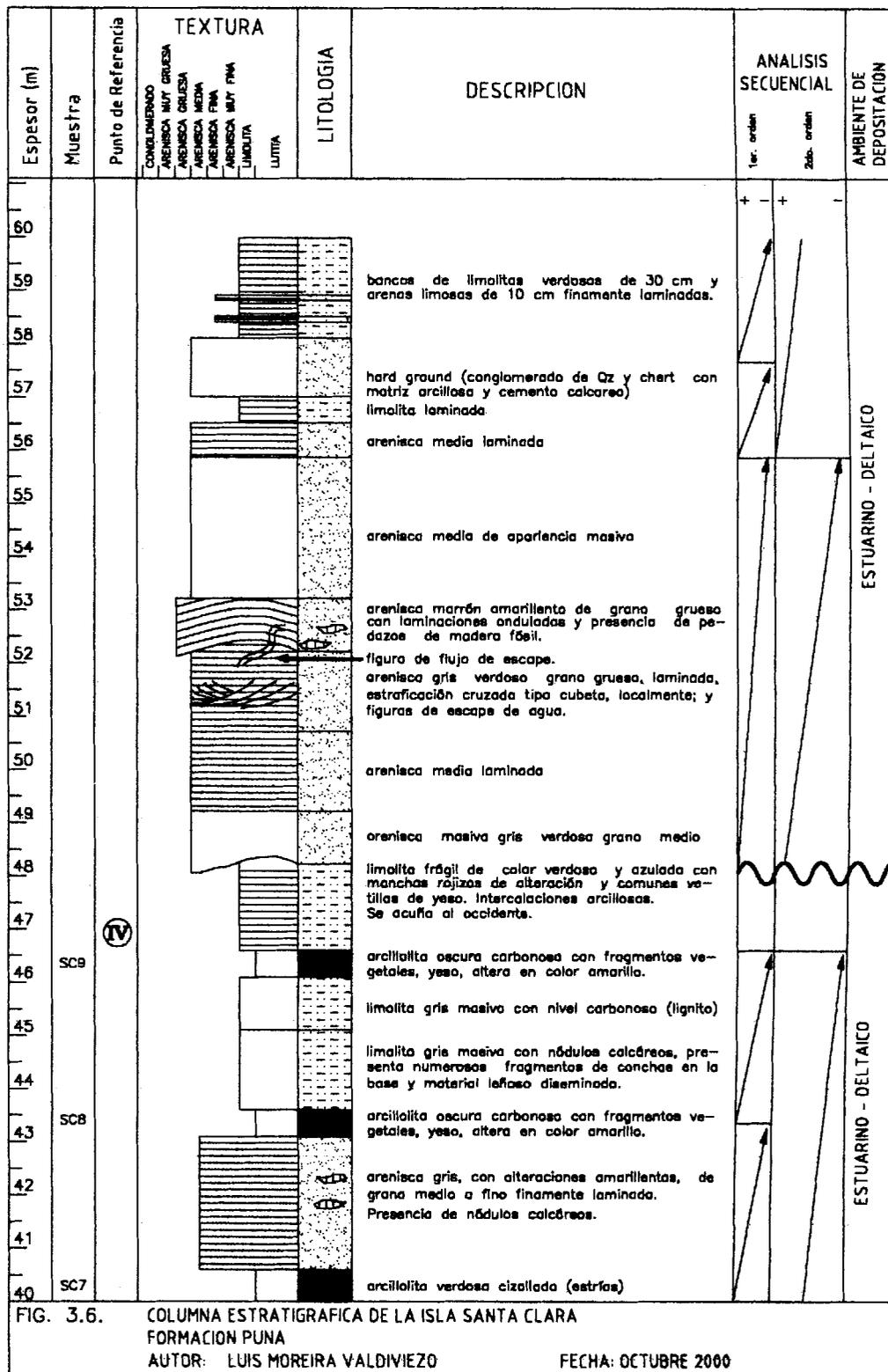


FIG. 3.6. COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA ISLA SANTA CLARA

FORMACION PUNA

AUTOR: LUIS MOREIRA VALDIVIEZO

FECHA: OCTUBRE 2000

Los puntos de referencia están ubicados en la Lámina 3: Mapa Geológico de la Isla Santa Clara

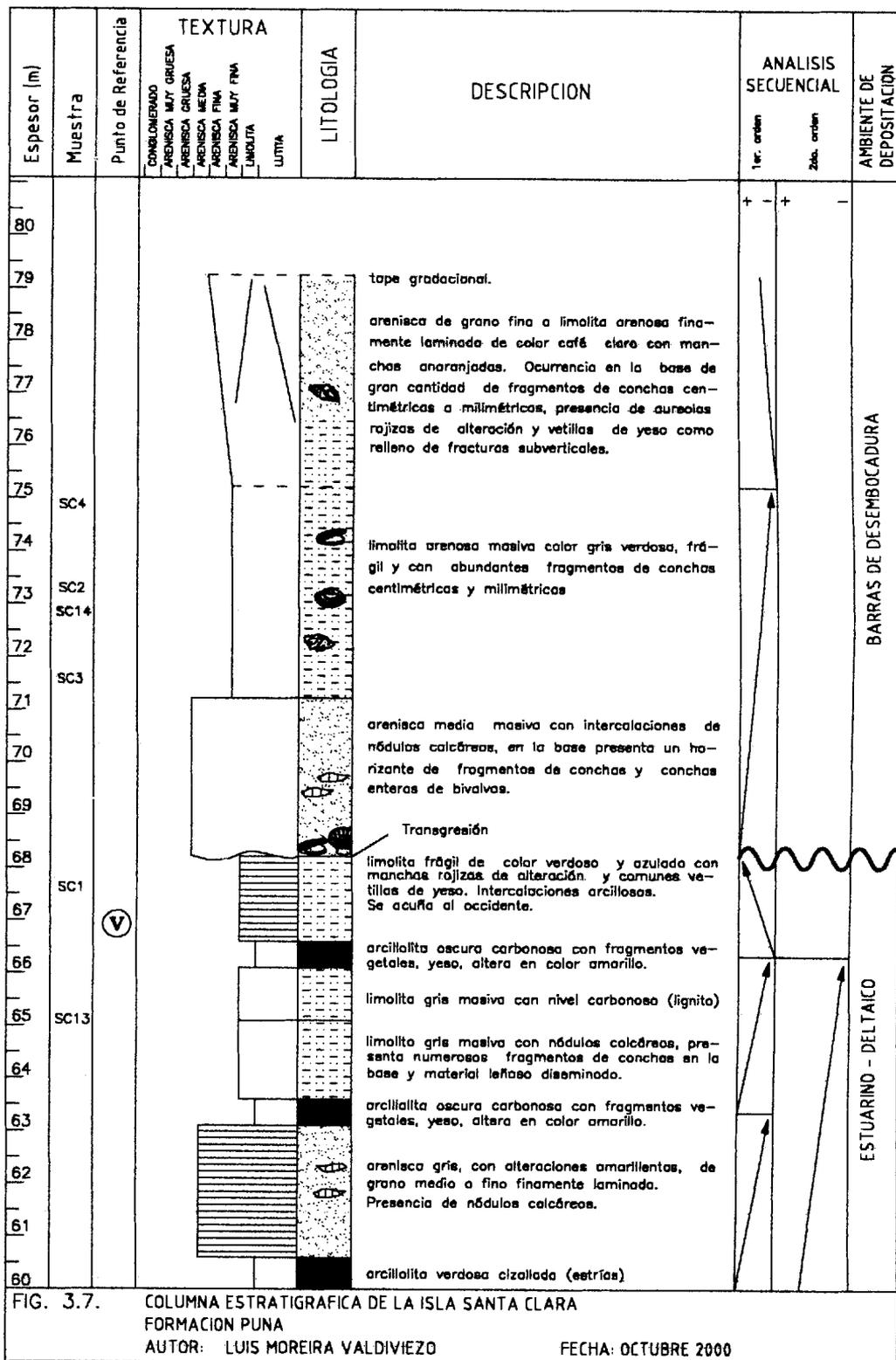


FIG. 3.7.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA ISLA SANTA CLARA

FORMACION PUNA

AUTOR: LUIS MOREIRA VALDIVIEZO

FECHA: OCTUBRE 2000

Los puntos de referencia están ubicados en la Lámina 3: Mapa Geológico de la Isla Santa Clara

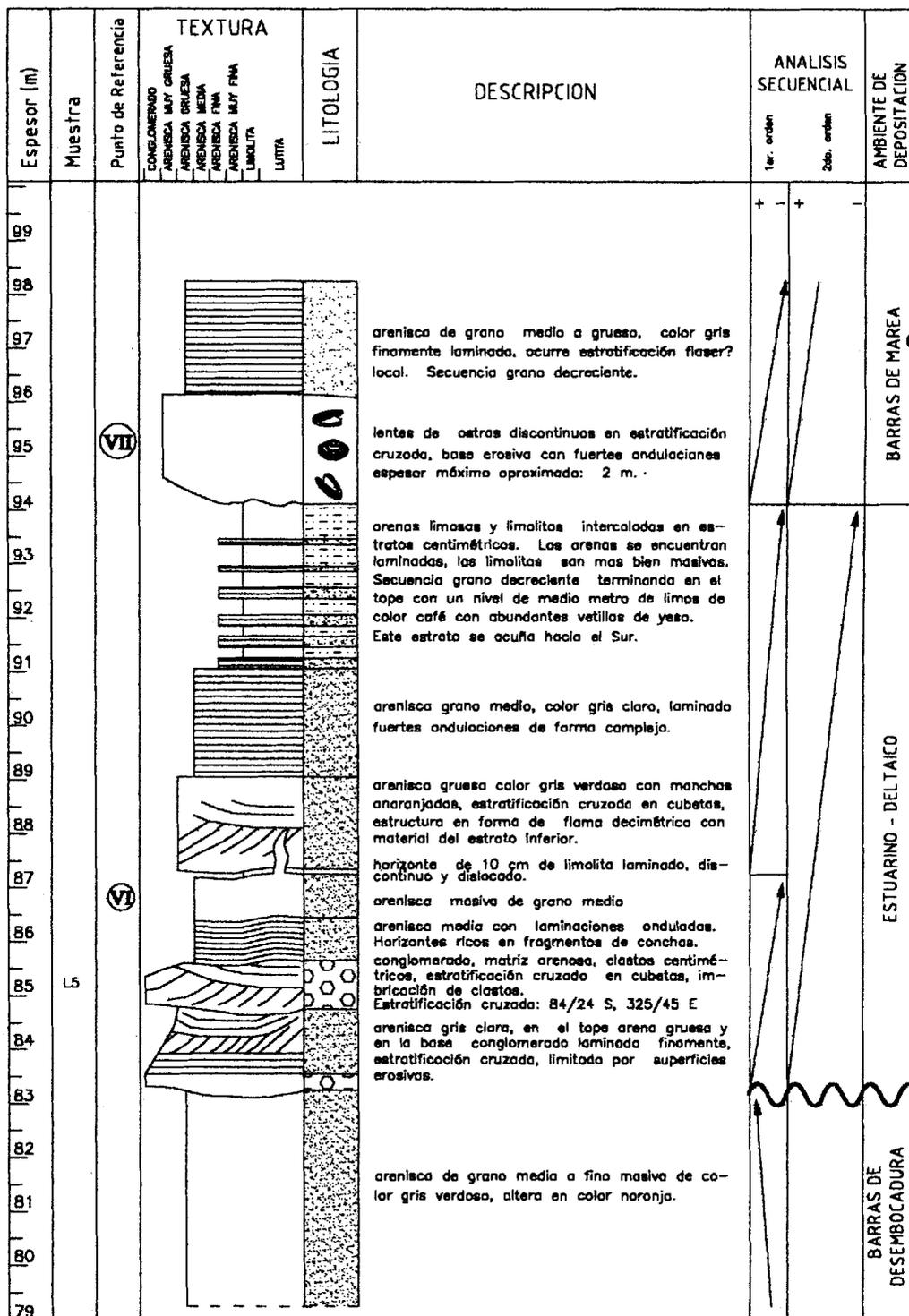


FIG. 3.8. COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA ISLA SANTA CLARA  
 FORMACION PUNA  
 AUTOR: LUIS MOREIRA VALDIVIEZO      FECHA: OCTUBRE 2000

Los puntos de referencia están ubicados en la Lámina 3: Mapa Geológico de la Isla Santa Clara



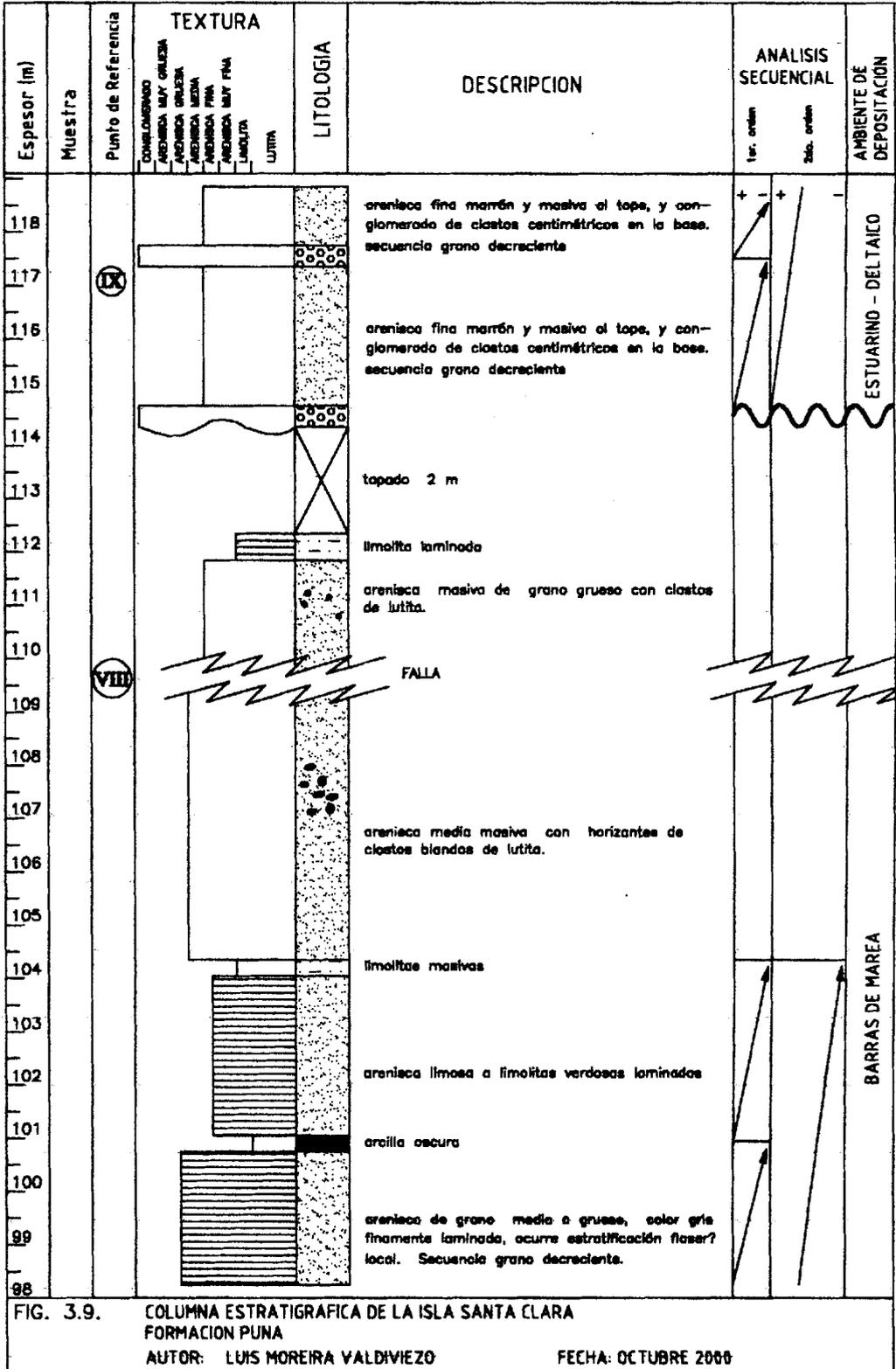


FIG. 3.9. COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA ISLA SANTA CLARA FORMACION PUNA  
 AUTOR: LUIS MOREIRA VALDIVIEZO      FECHA: OCTUBRE 2000

Los puntos de referencia están ubicados en la Lámina 3: Mapa Geológico de la Isla Santa Clara

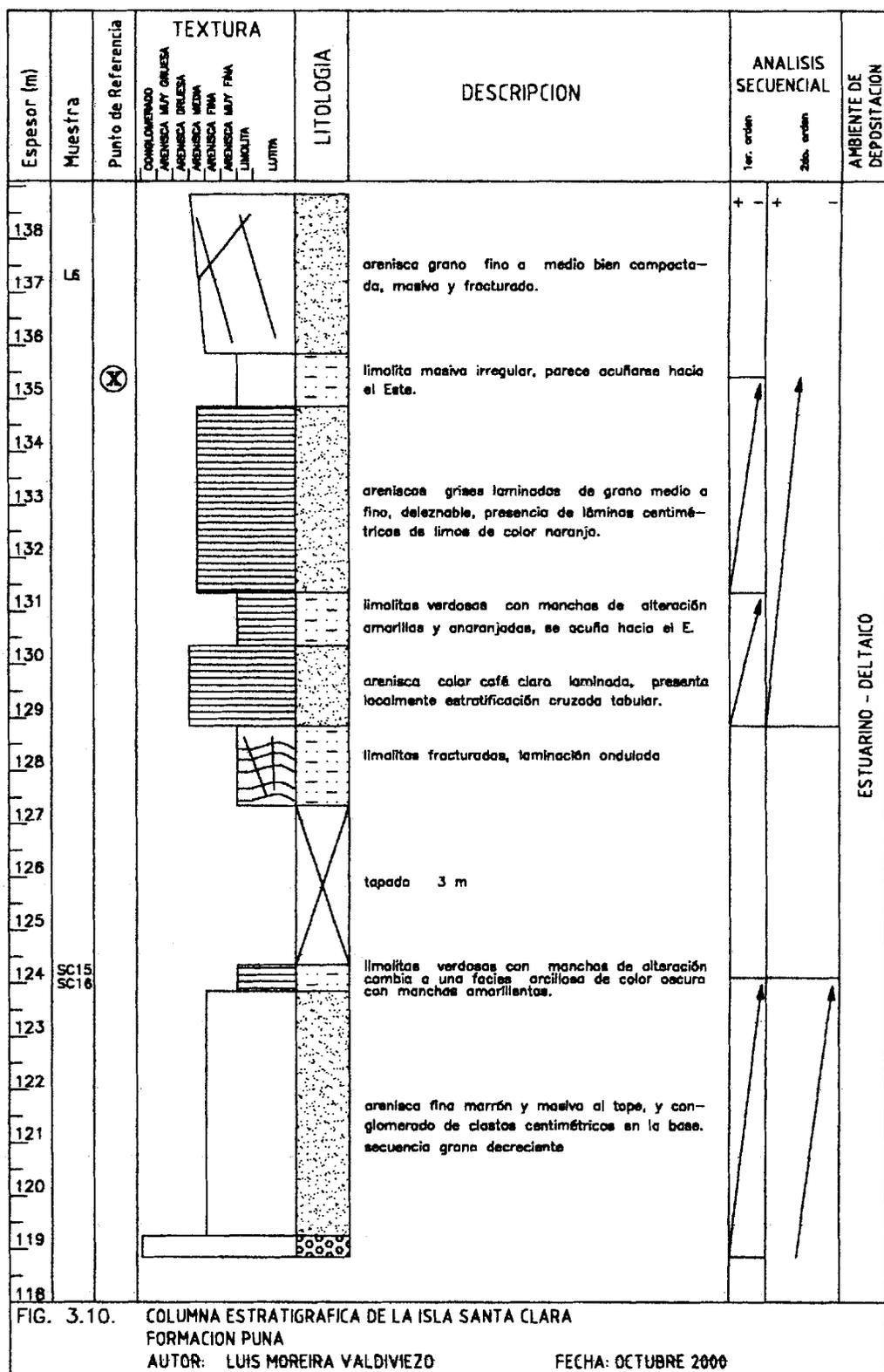


FIG. 3.10. COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA ISLA SANTA CLARA  
 FORMACION PUNA  
 AUTOR: LUIS MOREIRA VALDIVIEZO      FECHA: OCTUBRE 2000

Los puntos de referencia están ubicados en la Lámina 3: Mapa Geológico de la Isla Santa Clara

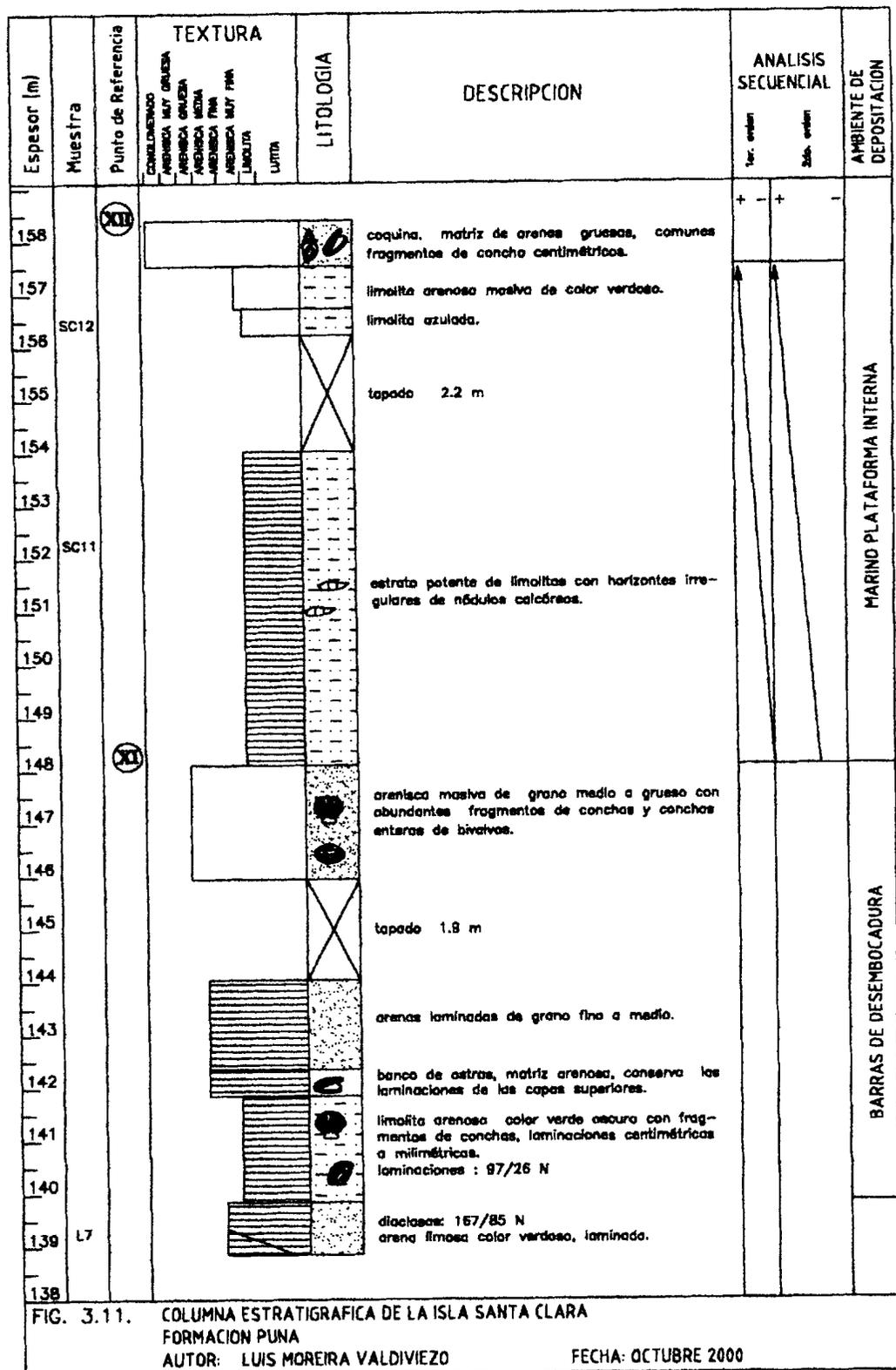


FIG. 3.11. COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA ISLA SANTA CLARA  
FORMACION PUNA

AUTOR: LUIS MOREIRA VALDIVIEZO

FECHA: OCTUBRE 2000

Los puntos de referencia están ubicados en la Lámina 3: Mapa Geológico de la Isla Santa Clara

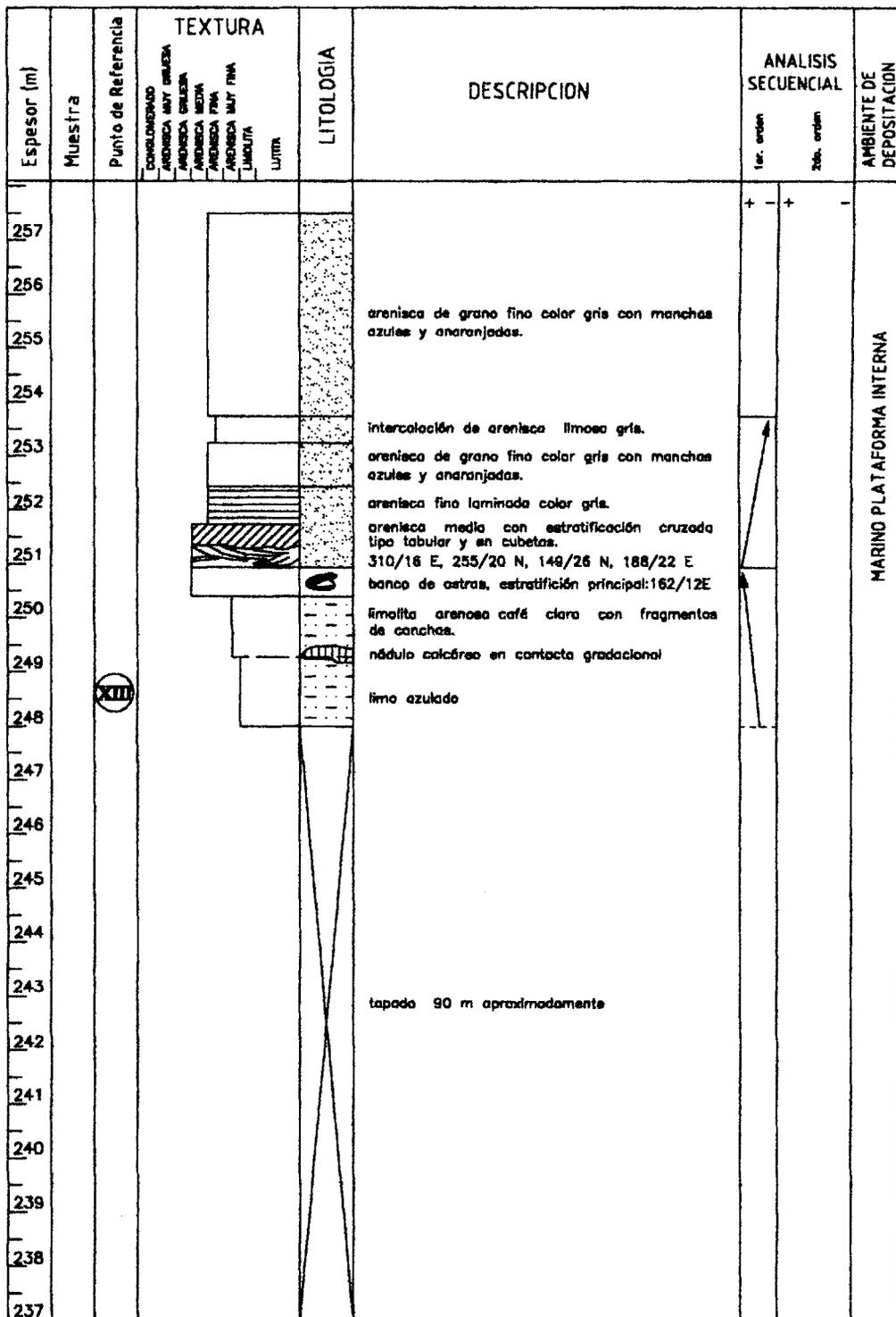


FIG. 3.12. COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA ISLA SANTA CLARA  
FORMACION PUNA

AUTOR: LUIS MOREIRA VALDIVIEZO

FECHA: OCTUBRE 2000

Los puntos de referencia están ubicados en la Lámina 3: Mapa Geológico de la Isla Santa Clara

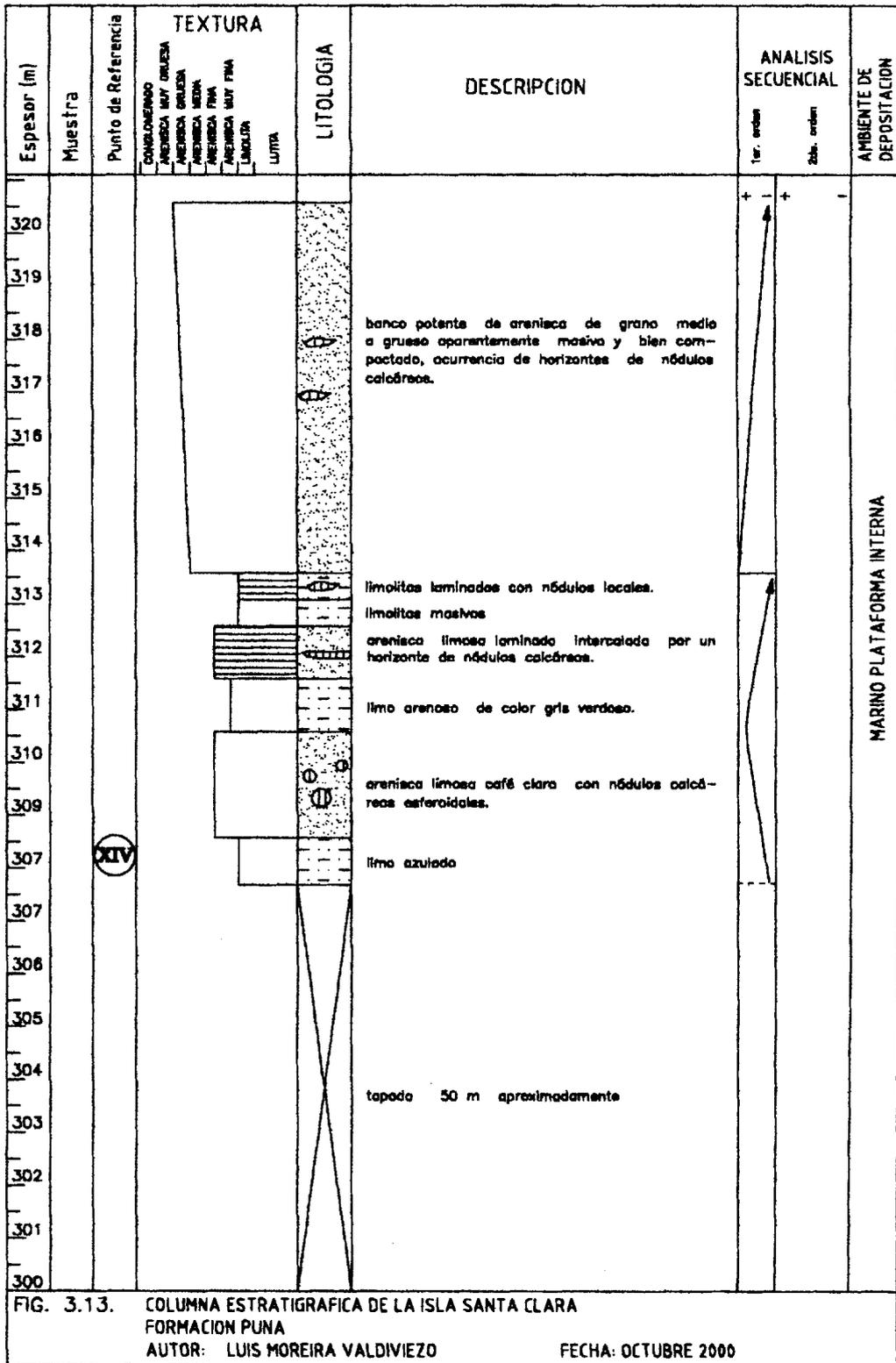


FIG. 3.13. COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA ISLA SANTA CLARA  
 FORMACION PUNA  
 AUTOR: LUIS MOREIRA VALDIVIEZO      FECHA: OCTUBRE 2000

Los puntos de referencia están ubicados en la Lámina 3: Mapa Geológico de la Isla Santa Clara

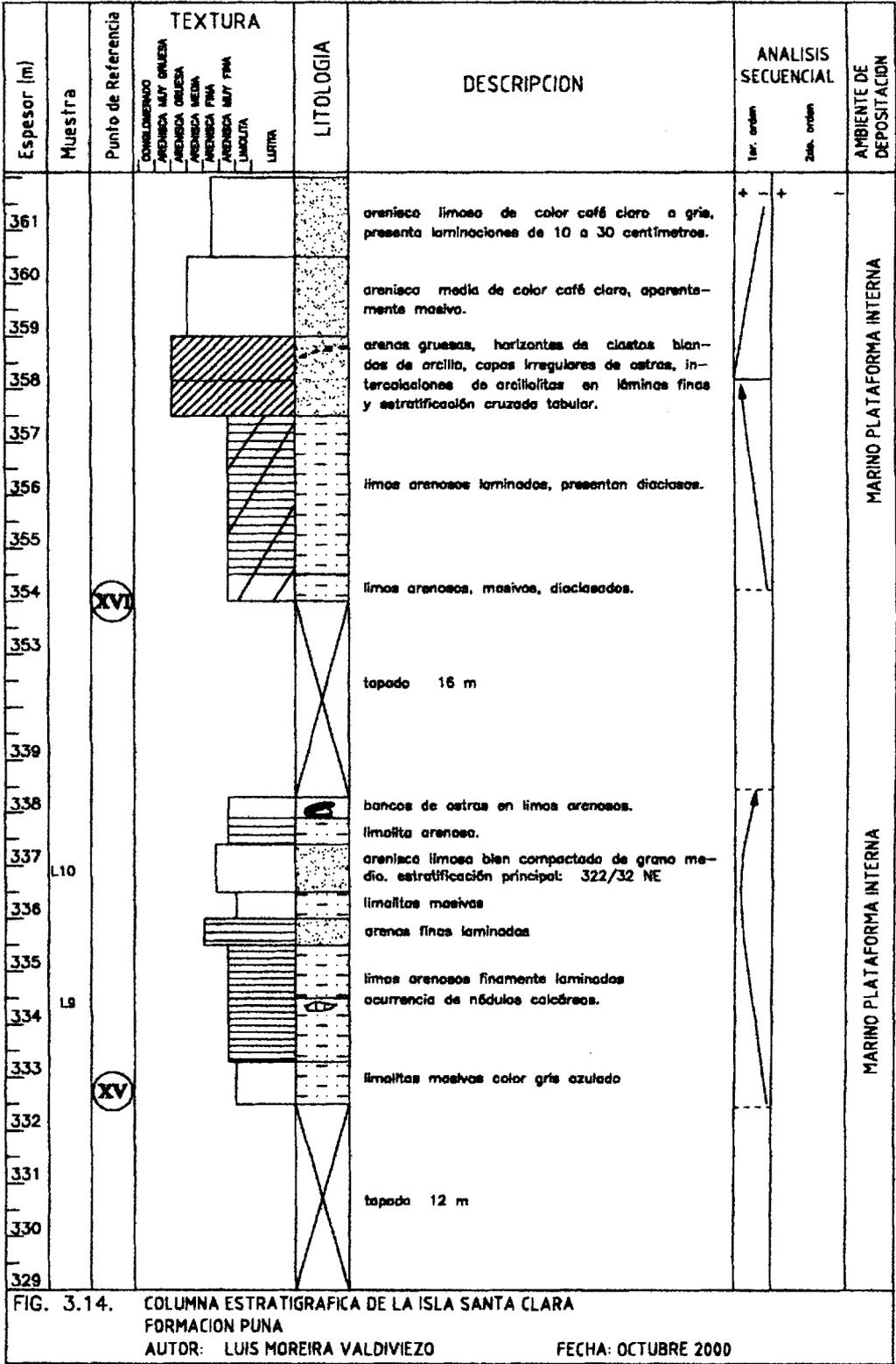


FIG. 3.14. COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA ISLA SANTA CLARA  
 FORMACION PUNA  
 AUTOR: LUIS MOREIRA VALDIVIEZO      FECHA: OCTUBRE 2000

Los puntos de referencia están ubicados en la Lámina 3: Mapa Geológico de la Isla Santa Clara

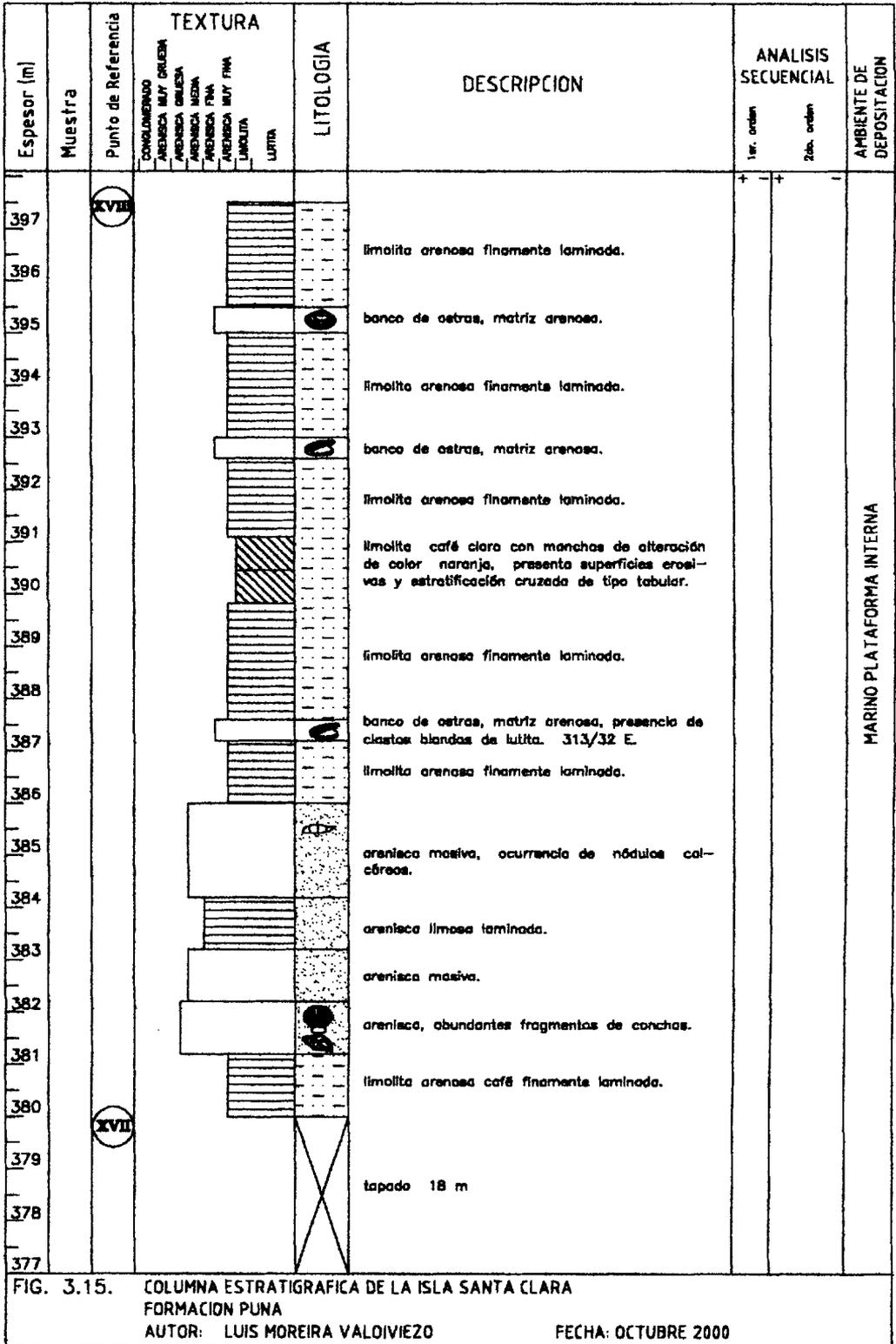


FIG. 3.15. COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA ISLA SANTA CLARA  
FORMACION PUNA

AUTOR: LUIS MOREIRA VALDIVIEZO

FECHA: OCTUBRE 2000

Los puntos de referencia están ubicados en la Lámina 3: Mapa Geológico de la Isla Santa Clara

***Depósitos de pantano o lagoon.-*** Se caracterizan por sedimentos finos de limolitas o arcillolitas oscuras con pátinas amarillas de azufre y anaranjadas por la presencia de óxido de hierro. Contienen además abundantes fragmentos leñosos o yeso. Son de apariencia masiva, lo que indica que son depósitos de aguas tranquilas. Corresponden al subambiente más continental del modelo, la zona supratidal.

***Llanos de marea.-*** Presentan por lo general una granulometría fina, de limolitas (lodoso) o limolitas intercaladas con arenas finas (mixto). La estructura sedimentaria dominante es la laminación paralela horizontal. Mientras más fino es el grano, más fina es la laminación. Contienen fragmentos milimétricos y centimétricos de conchas dispuestos como pequeños horizontes discontinuos. Los llanos arenosos de marea, son producidos en un ambiente más dinámico, con velocidades de corriente capaces de formar estratificaciones cruzadas de tipo tabular. En general, los llanos de marea son plataformas extensas que cubren la zona intertidal.

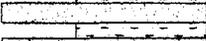
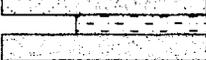
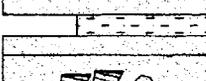
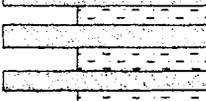
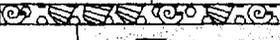
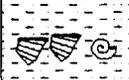
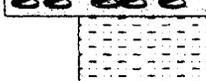
***Playa.-*** Son depósitos grano crecientes de arena media a gruesa con abundantes fragmentos de conchas o coquinas. Presentan generalmente estratificación cruzada tabular y son poco potentes. Son

depósitos de poca potencia en los que predominan la acción del oleaje y las corrientes de deriva.

*Barra de marea o desembocadura.*- Son los depósitos más potentes, poseen una granulometría que va de areniscas grano fino a limolitas, con horizontes discontinuos de clastos blandos de arcilla milimétricos a centimétricos. Presentan laminaciones tabulares paralelas horizontales o estratificación cruzada en cubetas. Generalmente, son de apariencia más bien masiva y en granulometrías finas puede presentar ondulitas de corriente. Son depósitos de la zona intertidal.

*Canal de marea.*- Se caracterizan por una granulometría gruesa que va de arena media a conglomerados, en donde las estructuras dominantes son las estratificaciones cruzadas tipo cubetas. Presentan bases muy irregulares y erosivas. Son depósitos de la zona subtidal.

*Plataforma Interna.*- Se caracterizan por potentes depósitos de limolitas laminadas intercaladas por capas poco potentes de arenisca fina y bancos de ostras completas depositadas entre areniscas. Son los depósitos más profundos del modelo, corresponden a la zona de offshore.

LITOLOGIA / ESTRUCTURAS	AMBIENTE SEDIMENTARIO	ZONA COSTERA	TIPO DE SECUENCIA
	PANTANO		ESTUARINO - DELTAICA
	LAGOON	ZONA SUPRATIDAL	
	LLANO LODOSO DE MAREA		
	LLANO MIXTO DE MAREA		
	LLANO MIXTO DE MAREA	ZONA INTERTIDAL	
	LLANO ARENOSO DE MAREA	ZONA INTERTIDAL	
	CANAL DE MAREA	ZONA SUBTIDAL	
	LLANO MIXTO DE MAREA		BARRAS DE DESEMBOCADURA
	LLANO MIXTO DE MAREA	ZONA INTERTIDAL	
	BARRA DE MAREA		
	PLAYA	ZONA DE SURF	
	BARRA DE DESEMBOCADURA	SHOREFACE SUPERIOR	
			MARINO PLATAFORMA INTERNA
			
	PLATAFORMA INTERNA	ZONA DE OFFSHORE	
			
			

**FIGURA 3.16.** Modelo estratigráfico de secuencia progradante para un estuario delta, según secuencias interpretadas de la isla Santa Clara del Golfo de Guayaquil.

### **3.5. Micropaleontología: Foraminíferos, Nanofósiles calcáreos y Palinomorfos.**

Se investigó el contenido de Foraminíferos, Nanofósiles calcáreos y Palinomorfos en 15 muestras, las cuales están ubicadas en la columna estratigráfica con las letras SC seguido de un número de identificación.

Los foraminíferos y nanofósiles calcáreos estuvieron poco representados, siendo la muestra SC11 la que contuvo mayor cantidad de especímenes, de esto se deduce que su paleoambiente de depositación fue marino de plataforma interna.

Los palinomorfos estuvieron presentes en la mayoría de las muestras por el tipo de depositación predominante de marino somero a transicional.

El marcador zonal *Echitricolporites mcneillyi* (ver fotografías en APÉNDICE B) es muy común en las muestras. La especie *Zonocostites ramonae* presente en todas las muestras excepto en SC4, SC6, SC7 y SC15 es en la actualidad el elemento más ubicuo en pantanos de aguas salobres.

Se presenta en las siguientes páginas dos tablas resumen de los resultados del análisis micropaleontológico (Ver tablas I y II)

De todo lo anteriormente expuesto se destaca que el rango cronoestratigráfico resultante es Plioceno medio a Plioceno superior.

### **3.6. Macropaleontología.**

Con el objetivo de hacer una revisión general, se realizó un pequeño trabajo de paleontología con este tipo de fósiles, el cual no fue ampliado por no contar con un especialista en la rama.

Los fragmentos de conchas y conchas enteras de moluscos (gasterópodos y bivalvos) están presentes en toda la columna aflorante. Muchos de estos fragmentos no permiten una identificación. Los fósiles más completos recolectados por el autor de esta tesis fueron identificados por la bióloga María Fernanda Arroyo. (tabla III).

Se observaron también fragmentos de madera fósil, y restos de túneles de anélidos rellenos y cementados.

**TABLA I: Cuadro de Resultados de los Análisis Micropaleontológicos**

MUESTRA	E D A D				PALEOAMBIENTES
	FORAMINIFEROS	NANOFOSILES CALCAREOS	PALINOLOGÍA	ASIGNADA	
SC-1	estéril	estéril	Eoceno sup.-Pleistoceno	Eoceno sup.-Pleistoceno	Marino Somero-Transicional
SC-2	Mioceno-Holoceno	estéril	Plioceno-Pleistoceno	Plioceno-Pleistoceno	Marino Somero, aguas cálidas
SC-3	estéril	estéril	Plioceno-Pleistoceno	Plioceno-Pleistoceno	Marino Somero-Transicional
SC-4	estéril	estéril	Mioc. Inf. Tardío-Pleistoceno	Mioc. Inf. Tardío-Pleistoceno	Marino Somero-Transicional
SC-5	Mioceno-Holoceno	estéril	Plioceno-Pleistoceno	Plioceno-Pleistoceno	Marino Somero, aguas cálidas
SC-6	estéril	estéril	Paleoceno Superior-Pleistoceno	Paleoceno sup.-Pleistoceno	Marino Somero-Transicional
SC-7	estéril	estéril	Eoceno sup.-Pleistoceno	Eoceno sup.-Pleistoceno	Marino Somero-Transicional
SC-8	estéril	estéril	Plioceno-Pleistoceno	Plioceno-Pleistoceno	Marino Somero-Transicional
SC-9	estéril	estéril	Plioceno	Plioceno	Marino Somero-Transicional
SC-11	Plioceno-Holoceno	Plioc. Medio Tempr.-Medio Pleist. Tempr.	Plioceno-Pleistoceno	Plioc. Medio. Temp.-1/2 Pleist. Temp.	Marino, Plataforma interna, aguas cálidas
SC-12	Plioceno-Pleistoceno	estéril	Plioceno	Plioceno	Marino, Plataforma interna, aguas cálidas
SC-13	estéril	estéril	Mioceno-Pleistoceno	Mioceno-Pleistoceno	Marino Somero-Transicional
SC-14	estéril	estéril	Eoceno sup.-Pleistoceno	Eoceno sup.-Pleistoceno	Marino Somero-Transicional
SC-15	estéril	estéril	estéril	Indeterminada	Indeterminada
SC-16	estéril	estéril	Plioceno-Pleistoceno	Plioceno-Pleistoceno	Marino Somero-Transicional

Los análisis micropaleontológicos fueron efectuados por los especialistas de Petroproducción Guayaquil: Martha Ordoñez, Nelson Jiménez, Italo Zambrano y Johnny Suárez.

TABLA II: Microfósiles Marcadores

ESPECIES	TERCIARIO												CUATERNARIO				
	PALEOCENO			EOCENO			OLIGOCENO	MIOCENO			PLIOCENO			PLEISTOCENO			HOLOCENO
	inf	med	sup	inf	med	sup		inferior	medio	superior	inf	medio	sup	inferior	medio	sup	
<b>FORAMINIFEROS bentónicos</b>																	
<i>Pararotalia magdalenensis</i>																	
<i>Elphidium gunteri</i>																	
<b>FORAMINIFEROS planctónicos</b>																	
<i>Globorotalia Hexagonum</i>																	
<i>Globigerina Calida</i>																	
<b>NANOFOSILES</b>																	
<i>Cyclolithus macyntirey</i>																	
<i>Pseudoemiliania lacunosa</i>																	
<i>Coccolithus cf. daronicoides</i>																	
<b>PALINOMORFOS</b>																	
<i>Zonocostites ramonae</i>																	
<i>Echitricolporites mcneillyi</i>																	
<i>Foveotrilites ornatus</i>																	
<i>Cyatheacidites annulatus</i>																	
<i>Polydiaceoisponges cf. pseudopsilatus</i>																	
<i>Spiniferites septentrionalis</i>																	
<i>Monoporites annulatus</i>																	
<i>Verrucatusporites usmensis</i>																	
<i>Psilatricolporites cf. divisus</i>																	
<i>Bombacacidites cf. Baumfalki</i>																	
<i>Psilaperiporites minimus</i>																	
<b>rango cronoestratigráfico resultante</b>																	

Los análisis micropaleontológicos fueron efectuados por los especialistas de Petroproducción Guayaquil: Martha Ordoñez, Nelson Jiménez, Italo Zambrano y Jhonny Suárez.

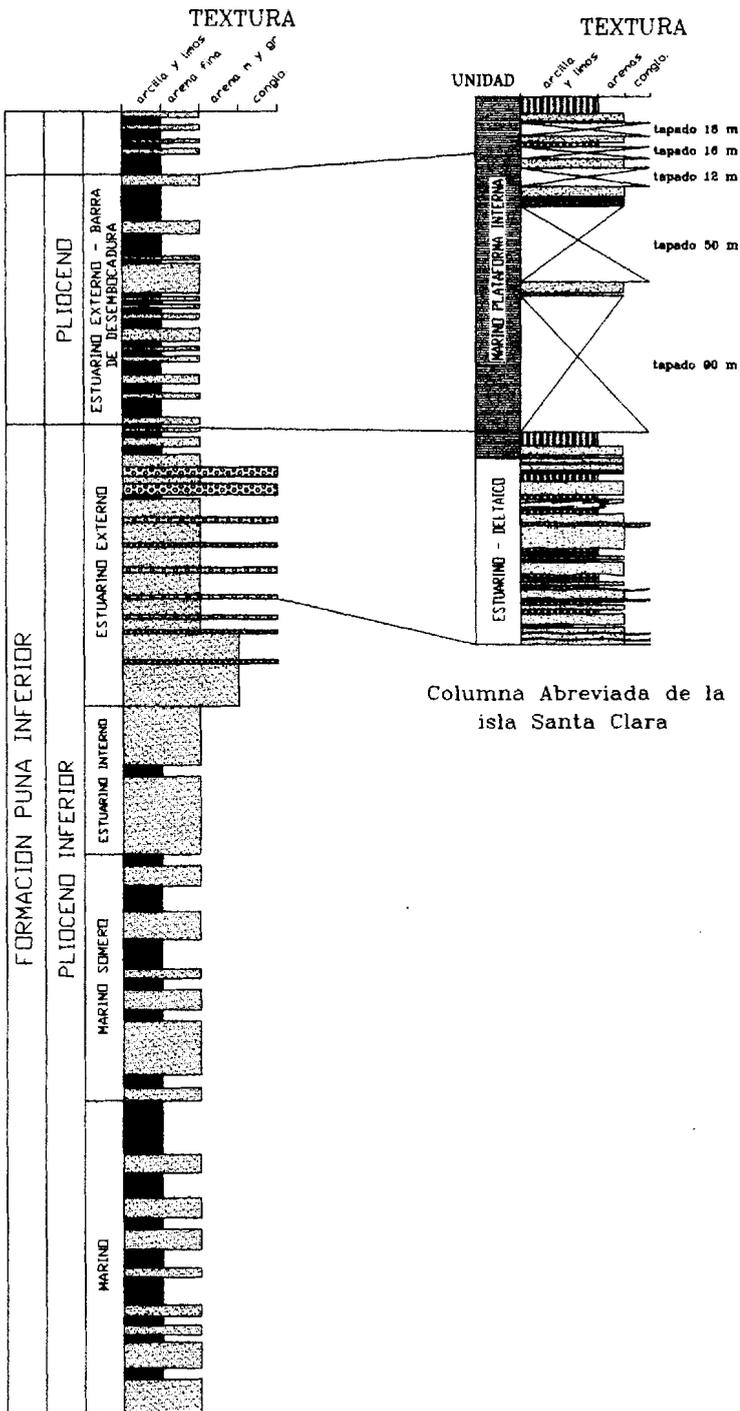
<b>FAMILIA</b>	<b>GENERO</b>	<b>ESPECIE</b>
<i>Veneridae</i>	<i>Chione</i>	-
<i>Veneridae</i>	<i>Protothaca</i>	-
<i>Veneridae</i>	<i>Megapitaria</i>	-
<i>Veneridae</i>	<i>Dosinia</i>	-
<i>Arcidae</i>	<i>Anadara</i>	<i>Anadara reinharti</i>
<i>Arcidae</i>	<i>Anadara</i>	-
<i>Noetidae</i>	<i>Noetia</i>	<i>Noetia magna</i>
<i>Tonnidae</i>	<i>Malea</i>	<i>Malea ringens</i>
<i>Tonnidae</i>	-	-
<i>Terebridae</i>	<i>Terebra</i>	-
<i>Terebridae</i>	-	-
<i>Naticidae</i>	<i>Polineces</i>	-
<i>Naticidae</i>	-	-
<i>Ostraeidae</i>	<i>Pholas</i>	
<i>Architectonicidae</i>	<i>Architectonica</i>	-
<b>PHYLUM</b>	<b>CLASE</b>	<b>Nombre vulgar</b>
<i>Crustacea</i>	<i>Cirripedia</i>	<i>balanus</i>

**TABLA III.** Identificación de fósiles de moluscos recolectados en la isla Santa Clara del Golfo de Guayaquil.

### **3.7. Correlación Estratigráfica con el Campo Amistad.**

De acuerdo con los datos litoestratigráficos y bioestratigráficos de la columna estudiada en la isla Santa Clara, existe una buena correlación con la estratigrafía del campo Amistad estudiada en base a registros eléctricos y análisis lito-bioestratigráficos en rípios de perforación (Figura 3.17).

Ambas secuencias pertenecen a la formación Puná Inferior de edad Plioceno medio a superior. La información estratigráfica detallada del campo Amistad fue proporcionada por EDC.



Síntesis estratigráfica del Pozo Amistad 4.  
Información Proporcionada por EDC

**Figura 3.17. Correlación estratigráfica entre la columna levantada en la isla Santa Clara y la del pozo Amistad 4 proporcionada por EDC.**

## CAPITULO 4



### 4. GEODINAMICA EXTERNA.

La morfología de la isla está determinada netamente por las principales estructuras geológicas. Se puede observar que los drenajes del Peñón Mayor son paralelos al rumbo de los estratos. Este aspecto determina también, la forma de algunos sectores de acantilados y de los peñones menores, con aristas lineales paralelas al rumbo de la estratificación. La falla principal a su vez determina un brusco cambio de buzamientos lo cual afecta la topografía de la parte Norte de la isla, debido a la erosión diferencial de ciertas capas que forman altos y bajos topográficos y drenajes.



#### 4.1. Geomorfología.

La isla Santa Clara puede ser dividida en:

- *Plataforma de abrasión y playa.*
- *Terrenos deslizados.*
- *Terraza levantada por deslizamiento.*



- *Acantilados vivos.*
- *Terrenos abruptos.*
- *Debris de pie de talud.*
- *Cima del Peñón Mayor, y*
- *Peñones menores.*

La distribución de estas zonas sobre la isla se presenta en el Mapa Geomorfológico de la Isla Santa Clara. En las siguientes líneas, una breve descripción de estas zonas:

**Plataforma de Abrasión y Playa.**- Está definida por las líneas de alta y baja marea. Ocupa un área aproximada de **231.933 m<sup>2</sup>**. Es una zona plana de gran actividad durante todo el año, en la cual se mueven muchas toneladas de arena y roca por metro cuadrado en pocas horas. Aquí se producen corrientes cuya magnitud depende de la pendiente de la playa y de la granulometría de la misma. Existen partes en que la playa tiene pendientes de más de 10°, allí se producen corrientes tan fuertes que pueden erosionar o depositar una columna de más de 15 cm de arena gruesa. Es común observar grandes cuñas rocosas en la playa recientemente desprendidas.

La playa se la ha subdivido según su composición en: playa arenosa y playa gravosa.

La playa arenosa ocupa en total un área aproximada de **107.651 m<sup>2</sup>** tienen una granulometría de media a gruesa, y contiene abundantes fragmentos de concha (ver foto 15). Su extensión está concentrada en la parte Norte de la isla en donde existe un depósito de arenas en forma de flecha que sobrepasa el kilómetro de largo.



**FOTO 15.** En primer plano, playa arenosa al Norte de la isla.

La playa gravosa ocupa un área de **124.342 m<sup>2</sup>**. Poseen clastos que van desde menos de 10 cm hasta los 50 cm y a veces al metro de diámetro. Estos clastos son en su mayoría angulares y con aristas rectas (ver foto 13), pero existe un gran porcentaje que son redondeados. Se componen en su gran mayoría de areniscas finas limosas o limolitas arenosas cementadas. Son restos de la erosión de los nódulos calcáreos.



**FOTO 16.** En primer plano, playa gravosa entre el Peñón Mayor y los peñones norteños.

La energía de las olas deposita arenas entre las fragmentos de roca, o en su defecto las lava dependiendo de la intensidad del oleaje. El mayor efecto que produce sobre los clastos más gruesos es el de

abrasión y redondeo, pues generalmente en esta fracción no se produce movimiento.

**Terrenos Deslizados.**- Los terrenos deslizados son en la actualidad la unidad geomorfológica más extensa del Peñón Mayor, con **66.813 m<sup>2</sup>**. Forman hacia el mar un talud de material blando deslizado que puede alcanzar varios metros de altura, como el que se ve en la foto 14 con más de 7 metros de alto. Este talud retrocede continuamente por la acción del oleaje especialmente durante las mareas altas.



**FOTO 17.** Borde de terreno deslizado sobre la playa.

Existen 5 diferentes terrenos deslizados sobre el Peñón Mayor, identificados en la figura 4.1 con las letras mayúsculas A, B, C, D y E.



**FIGURA 4.1.** Mapa índice de los terrenos deslizados del Peñón Mayor.

El terreno **A** se encuentra a un poco más de 25 metros de altura y se le calcula un área máxima de **6.923 m<sup>2</sup>**. Sus materiales se acumulan en la base del acantilado en donde se han formado pequeños conos de estos depósitos.

El terreno **B** es el más regular y presenta sectores muy planos, por lo que fue el lugar escogido para el campamento (ver Foto 1). Se le calcula un área de **12.884 m<sup>2</sup>**. En este terreno crecen unas escasas plantas y pasto, lo cual indica que no ha tenido movimientos bruscos en las últimas 2 décadas. Este terreno ha crecido hacia atrás haciendo retroceder a la cima del Peñón Mayor, más adelante, se presentarán varios cuadros comparativos que evidenciarán lo antedicho.

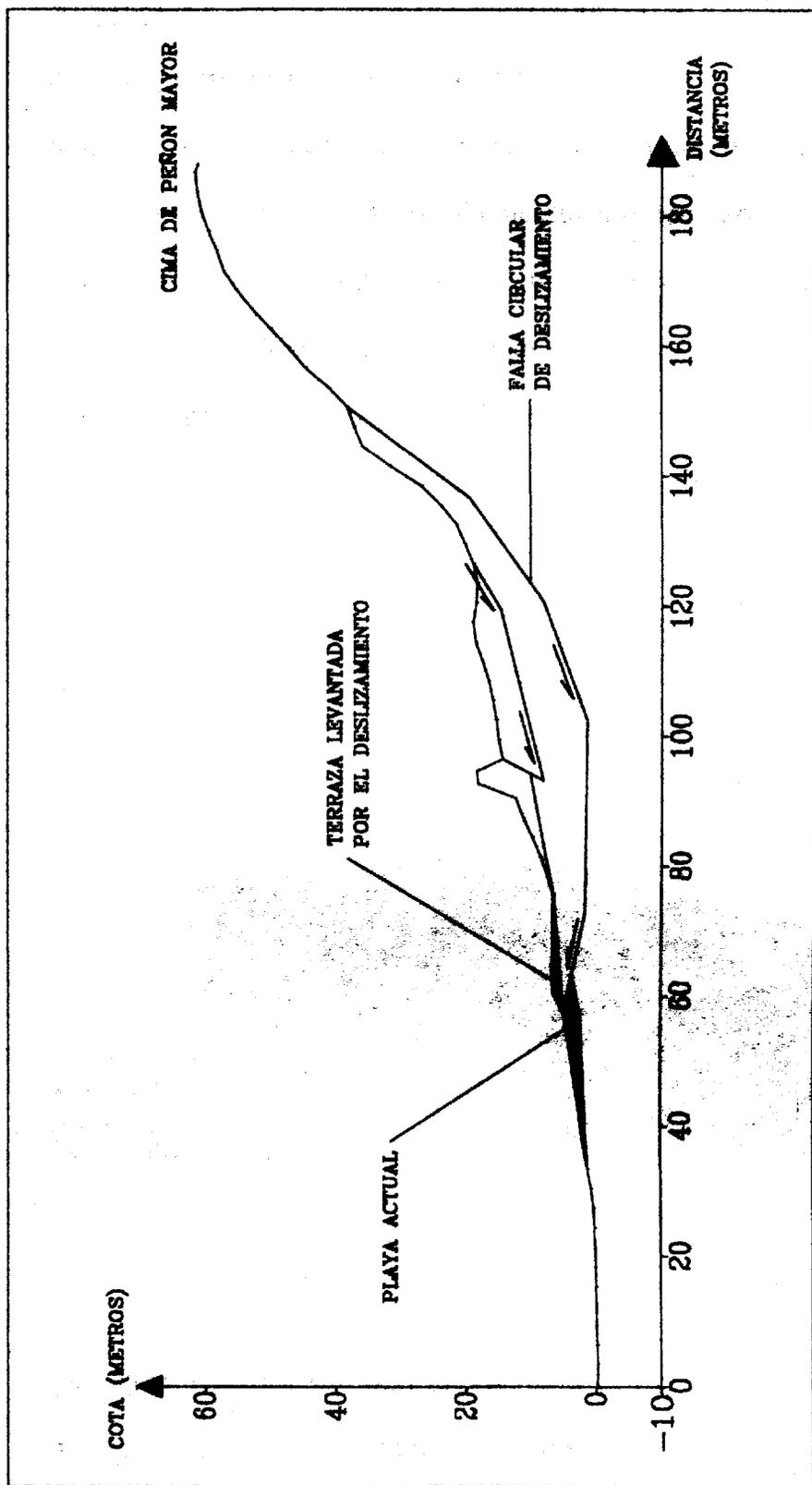
El terreno **C** es también un drenaje importante que se ha incrementado en virtud de pequeños desprendimientos de roca y deslizamientos de menor magnitud. Su área es de aproximadamente **3.206 m<sup>2</sup>**. Es el ascenso más sencillo hasta la cima del Peñón Mayor.

El terreno **D** alcanza un área de **2.832 m<sup>2</sup>** aproximadamente. Este terreno está separado del anterior por una pared abrupta de rocas (ver

mapa topográfico), el cual se ha formado en virtud de la erosión diferencial y del buzamiento más acentuado.

El terreno E constituye la zona de deslizamientos más amplia, con alrededor de **46.720 m<sup>2</sup>** en un sólo terreno muy irregular en el que se notan estructuras a semejanza de escalones dejadas por los planos de deslizamiento, como se puede notar en el corte presentado en el mapa geomorfológico. Esta zona está afectada por los deslizamientos más recientes y se encuentra aún muy inestable.

**Terraza Levantada por Deslizamiento.**- Se trata de un cuerpo único de gravas gruesas que ha sido levantado por la acción de una falla circular de deslizamiento. Se ubica en la parte Norte del Peñón Mayor como se puede ver en el mapa geomorfológico. La presencia de este cuerpo habla de un movimiento de mayores proporciones, el evento más importante suscitado en la historia reciente de la isla. Se extiende por alrededor de **1.094 m<sup>2</sup>**. En la siguiente página, se presenta en la figura 4.2 un corte real sin escala con el objetivo de explicar el mecanismo y las dimensiones de este evento.



**FIGURA 4.2.** Corte explicativo del levantamiento de una terraza por deslizamiento. Sin escala.

**Acantilados Vivos.**- Son acantilados formados por paredes de roca maciza y ocupan un área de **17.481 m<sup>2</sup>**. El principal agente que los modifica es el oleaje, cuyo efecto más importante es físico. Actúa removiendo las bases de los acantilados y produciendo taludes más y más empinados, que tienden a deslizarse o desprenderse. Las olas golpean fuertemente las rocas de los acantilados en marea alta favoreciendo los desprendimientos de grandes y pequeñas escamas rocosas que caen sobre la plataforma de abrasión.



**FOTO 18.** Terraza levantada por deslizamiento en la punta Norte del Peñón Mayor. Notar el escarpe de la falla de deslizamiento de 3 metros aproximadamente.

**Terrenos Abruptos.**- Son taludes que conforman el borde superior de los terrenos deslizados. Ocupan un área de **26.490 m<sup>2</sup>**

aproximadamente. En ellos actúan los agentes meteóricos, como las aguas lluvias y los vientos. Podría incluirse también a la brisa marina, es decir, al conjunto de pequeñas gotas de agua provenientes del mar que viajan impulsadas por los vientos o por los fuertes golpes de las olas. Este fenómeno aportaría con agua durante todo el año y produciría eventos químicos como la precipitación de yeso o calcita en las fracturas.

Las aguas lluvias se convierten en escorrentía y logran excavar cárcavas profundas en las poco resistentes rocas de la isla, produciéndose de esta manera un retroceso continuo de la cima del Peñón Mayor.

**Cima**.- Para fines de este estudio se ha definido como cima la parte superior más o menos plana del Peñón Mayor. Comprende un área de **34.273 m<sup>2</sup>**. Esta zona se encuentra entrecruzada por drenajes no muy bien definidos que corren en dirección paralela al buzamiento de las capas y que han excavado un importante volumen de rocas durante los inviernos. En la cima es donde crece la mayor parte de la vegetación y dónde anidan las aves marinas.

**Peñones Menores.**- Abarcan un área pequeña de sólo 5.521 m<sup>2</sup>. Son los cuerpos con los cambios más notables desde 1980 y con una fuerte tendencia a desaparecer en los próximos años.

### **DISCUSIÓN**

En general, toda la isla es afectada por procesos muy dinámicos, a lo que se debe su gran inestabilidad. Se ha tratado de diferenciar los distintos grados de estabilidad que pueden ocurrir en las zonas de taludes, llegando a la conclusión de que las zonas más inestables son en orden descendente:

1. Los terrenos deslizados.
2. Los acantilados vivos y peñones menores.
3. Terrenos abruptos.

#### **4.2. Procesos Litorales.**

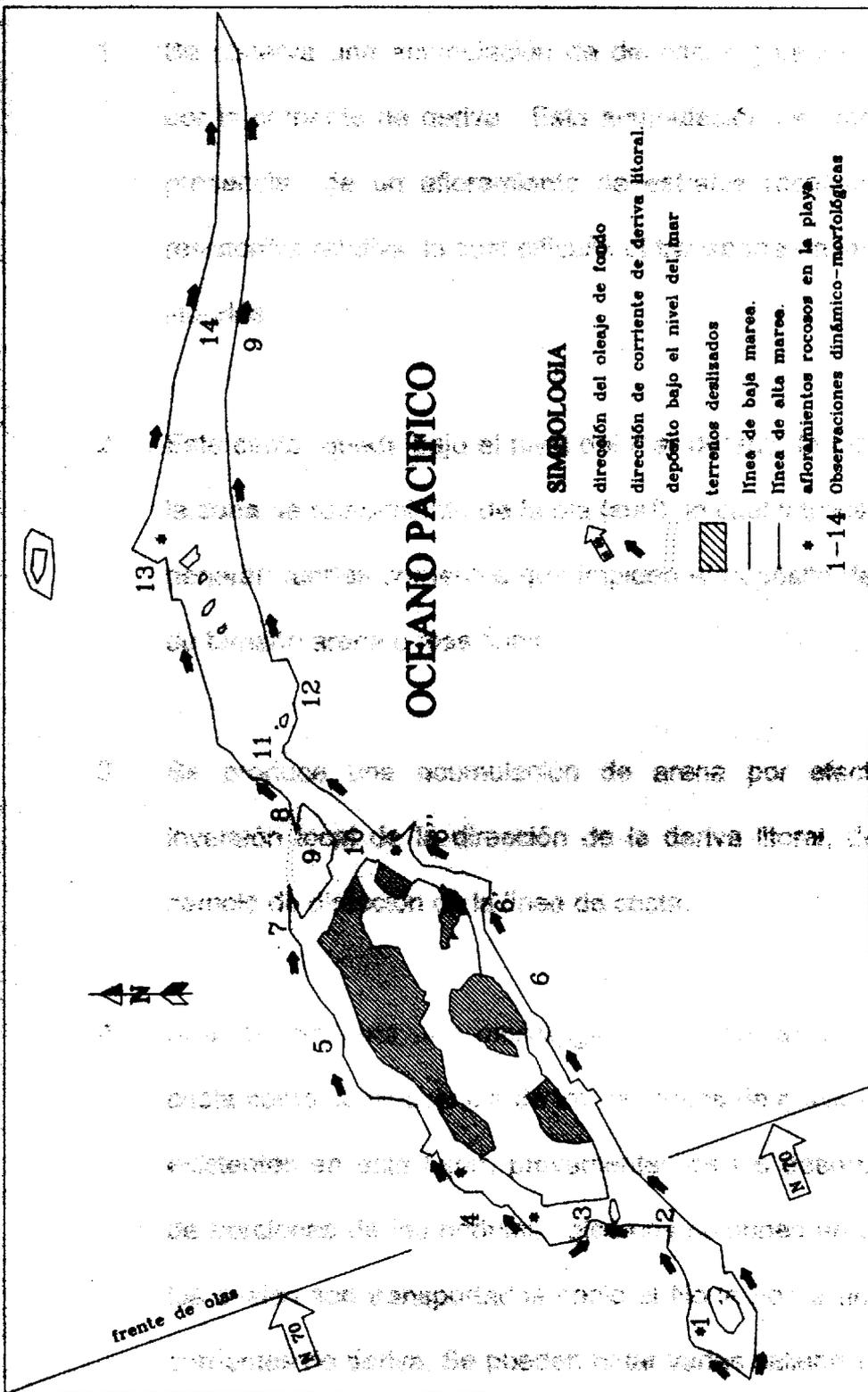
Se pueden distinguir dos tipos de procesos en la isla. En primer lugar están aquellos procesos que están directamente relacionados con la acción del mar, el cual produce corrientes, remoción, meteorización, etc. En segundo lugar están los procesos de deslizamientos producidos en el Peñón Mayor, los cuales serán descritos más adelante.

**La acción del mar.**- En promedio la dirección del oleaje de fondo que llega a la isla es de 70° de azimut, la mayor parte del año. Esta dirección produce en la isla fuertes corrientes de deriva litoral, lo cual se ve claramente expresada por la punta de arenas que existe en la parte Norte de la isla, la misma que mide aproximadamente 1,6 Km de largo, un ancho promedio de 90 metros y una cota máxima que supera los 3 metros sobre el nivel de la bajamar.

El oleaje y las corrientes de deriva son más intensas en la cara occidental por efectos de la orientación del Peñón Mayor con respecto al oleaje de fondo.

En la figura 4.3. se muestra un modelo de la distribución de las corrientes de deriva litoral. Este modelo, basado en la teoría geomorfológica de accidentes costeros, explica los procesos de erosión – depositación que se producen en la playa.

Se han identificado en la playa, 14 zonas con características morfodinámicas ligeramente distintas (ver figura 4.3.) que son producto de la interacción de varios factores como se expone a continuación:



**FIGURA 4.3. Distribución de las corrientes de deriva litoral e identificación de procesos de erosión - deposición producidos en la playa**

1. Se observa una acumulación de depósitos gruesos acarreados por la corriente de deriva. Esta acumulación se produce por la presencia de un afloramiento de estratos rocosos de mayor resistencia relativa, lo cual dificulta el transporte de las corrientes litorales.
2. Este sector queda bajo el nivel del mar durante la marea alta en la zona de rompimiento de la ola (surf), lo cual implica que allí se generan fuertes corrientes que impiden el depósito de partículas de tamaño arena o más finas.
3. Se produce una acumulación de arena por efecto de una inversión local de la dirección de la deriva litoral, debido a un cambio de dirección de la línea de costa.
4. Aquí se presenta una morfología muy irregular de la línea de costa como consecuencia de los depósitos de grava muy gruesa existentes en este lugar, provenientes de los desprendimientos de porciones de los nódulos calcáreos comunes en este sector, los cuales son transportados hacia el Norte por la acción de las corrientes de deriva. Se pueden notar varias salientes en la línea

de costa; éstas, son producidas por los afloramientos de estratos rocosos que son cortados oblicuamente en los acantilados vivos.

5. En esta zona el mar está actualmente redistribuyendo la gran cantidad de material suelto que produjeron los deslizamientos generados en este sector. Esta playa tiene un contenido importante de arenas por la misma razón.

6, 6' y 6". Los deslizamientos de este lado de la isla alimentan las playas con material grueso de tamaño grava y arena. Los materiales arenosos son desplazados y depositados hacia el NE por efectos de las corrientes de deriva.

7, 8 y 9. La gran cantidad de detritus provenientes del gran deslizamiento del NW del Peñón Mayor, es desplazada por las corrientes de deriva formando un espigón con la misma dirección de la deriva litoral. La presencia del espigón en 8 con la misma dirección permite suponer la continuidad submarina entre ambos espigones. Esto explica, el porqué 9 se presenta como una pequeña ensenada de aguas tranquilas en bajamar. Se ha constatado que en este sitio por debajo de la bajamar existen depósitos de arena importantes.

10. Terrazas de sicigia. Este es el único sitio donde aparecen terrazas de sicigia, debido a que es el lugar más protegido del oleaje en pleamar, con relación a la dirección de llegada del oleaje que proviene del SO.
11. Al igual que la zona 2, queda bajo el nivel del mar durante la marea alta en la zona de rompimiento de la ola (surf), lo cual implica que allí se generan fuertes corrientes que impiden el depósito de partículas de tamaño arena o más finas.
12. En esta zona las corrientes de deriva tienden a desviarse debido a la presencia de un peñón menor, que a pesar de que parece ser de pequeña magnitud, es la expresión de un cuerpo más grande que no aflora, pero que está a poca profundidad por debajo de la playa.
13. En este sector existe un afloramiento de estratos rocosos que resisten a la erosión, producto de esto ha quedado un promontorio en la playa formando una punta, y más allá de la playa se notan otra vez el mismo afloramiento en medio del mar en baja marea. Estos dos cuerpos son en realidad uno solo cortado por la acción del mar y de las corrientes de deriva.

14. Las corrientes de deriva transportan hasta este lugar las partículas de arena que provienen de la erosión de los peñones de la isla formando una barra litoral en forma de flecha de dirección NE y de aproximadamente 1,5 km de longitud.

No ha sido objeto de esta tesis ir más allá en la definición y en la cuantificación de los parámetros con que se producen los fenómenos de erosión-depositación relacionados con las corrientes de deriva litoral.

**Los Procesos de Deslizamientos.**- Los movimientos de masas rocosas observados en la isla Santa Clara son de dos tipos:

- Caídos (Falls), donde una masa discreta de material, sin importar su tamaño, es desprendida y se mueve a favor de la pendiente viajando en el aire, rebotando o rodando. Generalmente se da en pendientes fuertes las que se producen con frecuencia tanto en los ancantilados de la isla como también en los bordes de la cima del Peñón Mayor.
- Deslizamientos Rotacionales desorganizados (Disrupted Rotational Slides), los cuales son deslizamientos de materiales numerosos e independientes que se mueven sobre un plano con forma de "cuchara". Ocurre en materiales en los que las fuerzas de cohesión

son casi iguales a las que se producen a lo largo de las discontinuidades de la masa rocosa. A este tipo de deslizamientos también se les denomina slumps.

La forma en que las rocas del Peñón Mayor se desprenden está determinada por la composición y orientación de las mismas. Todos los terrenos deslizados del Peñón Mayor tienen su propia evolución. El terreno A, se encuentra en un estado incipiente, y su morfología está determinada por la presencia de dos horizontes de arcillolitas, los que parecen proteger a las rocas inferiores de las aguas de infiltración disminuyendo la velocidad del proceso de erosión. El terreno B es un deslizamiento antiguo (más de 20 años) que empezó tal como el anterior, pero que después de perder los horizontes de arcillolitas las aguas de infiltración aceleraron el proceso de erosión. Actualmente crece por los desprendimientos de la pared interior que lo separa de la cima del Peñón Mayor. Los terrenos C y D son producidos principalmente por efectos de erosión diferencial sobre estratos de granulometría fina o simplemente capas de sedimentos muy sueltos, su morfología se debe principalmente al rumbo y buzamiento de las capas. Por último, el terreno E es más complejo por ser mucho mayor en tamaño, se puede suponer que fue similar en sus inicios al terreno A, y que su extensión se fue incrementando rápidamente según se

suscitaban los deslizamientos y desprendimientos. Aquí es notable la importancia de un estrato potente de areniscas compactas que lo mantiene a una altura de algunos metros sobre la playa. Este factor disminuye el efecto de erosión que produce el oleaje. En este terreno se encontraron evidencias de grandes movimientos de tierra, la más importante es la terraza levantada (foto 18).

En general, todos los deslizamientos son flujos continuos de material hacia la playa y en última instancia hacia el mar.

### 4.3. Evolución Geomorfológica.

Los cambios morfológicos de la isla Santa Clara se pueden constatar comparando los mapas topográficos de los años 1980 (tesis de Richard Vera) y 2000 (Lámina 1). Los cambios más evidentes son los producidos en el Peñón Norte, que casi ha desaparecido (ver foto 19 y 20); y en el Peñón Mayor que ha sufrido grandes deslizamientos en su lado Occidental. Con los mapas topográficos de la isla, se han realizado cálculos y comparaciones areales y volumétricas, para cuantificar estos cambios.

**Comparaciones Volumétricas.**- Para hacer los cálculos volumétricos se usaron modelos digitales de terreno. Un modelo digital de terreno



es básicamente, un archivo digital que contiene datos topográficos de un conjunto de puntos equiespaciados, en donde los datos de cota son interpolados a partir de las medidas realizadas sobre el terreno, usando métodos geoestadísticos.

Se hicieron modelos digitales a partir de los datos topográficos actuales (Lámina 1: Mapa Topográfico de la Isla Santa Clara), así como los de 1980. Los datos topográficos de 1980, fueron tomados a partir de la digitalización del mapa topográfico presentado por Richard Vera en su tesis de grado. Los puntos fueron interpolados cada 3 metros, para lo que se usó kriging con un radio de búsqueda máximo de 80 metros y mínimo de 40.

Así, el volumen actual de la isla Santa Clara, se estima en alrededor de **3'562.380 m<sup>3</sup>**, esto es, excluyendo la playa y los peñones del Norte que casi han desaparecido. En cambio, para 1980, se estima en **5'387.090 m<sup>3</sup>**, lo cual implica una reducción neta de algo más de **1'824.710 m<sup>3</sup>**, es decir **32,87%** del volumen original, aproximadamente. Si se supone una densidad promedio de las rocas de la isla de **2.00 gr/cm<sup>3</sup>**, han sido removidos más de **3'649.420 Ton.** en los últimos 20 años.

Este volumen actual de 3'562.380 m<sup>3</sup> no es macizo en su totalidad; gran parte es material suelto, sedimentos producidos a partir de desprendimientos y deslizamientos en el Peñón Mayor. Este material es muy inestable y es removido rápidamente por la erosión producida por el oleaje, especialmente en marea alta.

Para poder calcular el volumen actual de este material deslizado y diferenciarlo así de la roca maciza, se hicieron varias suposiciones que simplificaron los cálculos:

1. Cada uno de los terrenos deslizados es producto de un sólo deslizamiento.
2. Todos los terrenos deslizados tienen una estructura similar, según planos de deslizamiento continuos con forma de cuchara, cuyo nivel más bajo tendería a igualarse al nivel promedio de marea.
3. Para simplificación de cálculos se convirtió este plano de deslizamiento en un plano horizontal medio localizado al nivel de la marea alta (ver figura 4.4), restado de la topografía desde los límites del peñón hasta antes de la zona de terrenos abruptos (ver lámina 2).



**Figura 4.4:** Perfil de deslizamientos según las suposiciones hechas para el cálculo de volumen desplazado presente en el Peñón Mayor. Comparar con la figura 4.2. El cálculo se hizo restando a la topografía, el nivel de marea alta.



De esta manera, se pudo calcular, con un cierto error, que el volumen de este tipo de material es de aproximadamente **905.464 m<sup>3</sup>** que representa **25,42%** del volumen actual del Peñón Mayor.

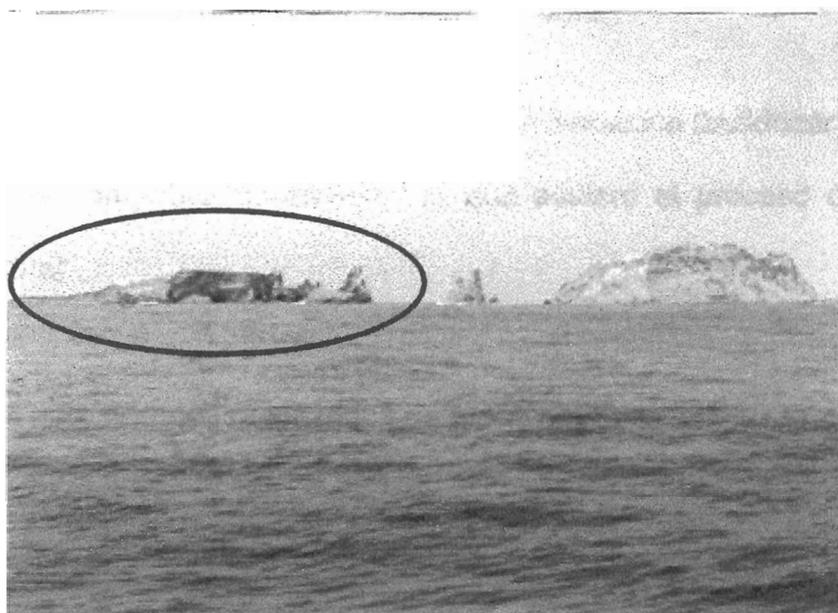
**Comparaciones Areales.**- Se puede dividir el estudio de las áreas de la isla, en áreas netas y áreas de unidades geomorfológicas.



En cuanto al resto de los peñones situados al Norte de la Isla, estos casi han desaparecido como se dijo anteriormente. Del Peñón Norte sólo quedan 4 peñones menores, como se ve en la Foto 19. Este



**FOTO 19.** Peñones del Norte. Septiembre del 2000.



**FOTO 20.** Panorámica de la isla Santa Clara tomada en 1980 en donde se puede apreciar el desaparecido Peñón Norte. (Vera Richard, 1982).



**FOTO 21.** Peñones Norteños. Foto tomada en 1980 en donde se puede apreciar el desaparecido Peñón Norte. (Vera Richard, 1982).

peñón fue objeto de un trabajo con pala mecánica (bulldozer) realizado por la compañía NorthWest, lo que aceleró el proceso de erosión natural.

La Tabla IV muestra los datos de áreas netas en forma resumida.

PEÑÓN	1.980		2.000		DIFERENCIA	
	AREA (a)	%	AREA (b)	%	(a - b)	% original
Peñón Sur	6.814	4,03%	3.402	2,17%	3.412	50,07%
Peñón Mayor	153.415	90,84%	151.687	96,85%	1.728	1,13%
Peñones Norte	8.654	5,12%	1.532	0,98%	7.122	82,30%
<b>Total Emergido</b>	<b>168.883</b>	<b>100,00%</b>	<b>156.621</b>	<b>100,00%</b>	<b>12.262</b>	<b>7,26%</b>

**TABLA IV.** Comparación de Áreas emergidas en los años 1.980 y 2.000. Todas las áreas están en m<sup>2</sup>.

Se pueden realizar tres observaciones importantes al respecto de los datos presentados arriba:

1. El área del Peñón Sur se ha reducido a la mitad.
2. Los Peñones Norte casi han desaparecido.
3. El Peñón Mayor no ha tenido mayor cambio en su área, sin embargo, ha sido afectado tanto o más que los otros peñones de la isla en términos de volumen, lo cual implica que los terrenos deslizados tienden a ocupar las áreas retrocedidas por los acantilados, equilibrando así, el área del Peñón Mayor.

*Áreas de Unidades Geomorfológicas.*- Con el fin de estudiar la evolución morfológica de los terrenos del Peñón Mayor, se han comparado sus áreas actuales con las áreas que ocupaban en 1980. Para esto se hizo uso del mapa Geomorfológico actual (Lámina 2), y se realizó una zonificación del mismo tipo sobre el mapa topográfico de 1980. Los resultados de estos cálculos se presentan resumidos en la tabla V y en las figuras 4.5. y 4.6.

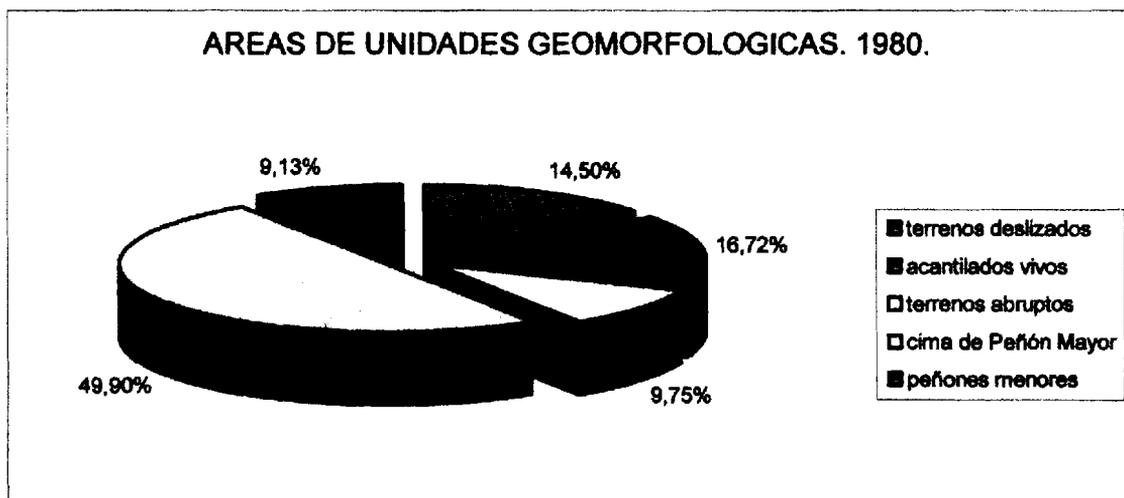
A partir de estos datos se pueden hacer las siguientes observaciones:

- El área de los terrenos deslizados ha crecido en un 272%.
- La cima del Peñón Mayor ha disminuido un 40% de su área original.

- Los Peñones Menores han disminuido un 36% de su área original.

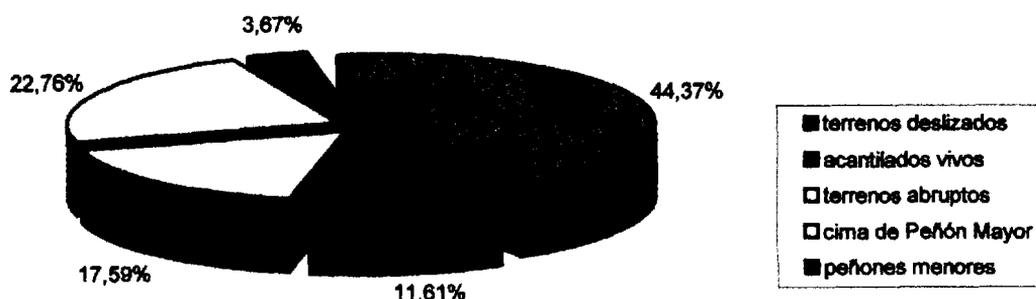
UNIDAD GEOMORFOLOGICA	1.980		2.000	
	Area (m <sup>2</sup> )	%	Area (m <sup>2</sup> )	%
terrenos deslizados	24.559	14,50%	66.813	44,37%
Acantilados vivos	28.324	16,72%	17.481	11,61%
terrenos abruptos	16.527	9,75%	26.490	17,59%
cima de Peñón Mayor	84.551	49,90%	34.273	22,76%
peñones menores	15.468	9,13%	5.521	3,67%
terrazza levantada por deslizamiento	0	0,00%	1.094	0,73%
debris de pie de talud	0	0,00%	6.047	4,02%
TOTAL	169.429	100,00%	150.578	100,00%

**TABLA V.** Comparación de Áreas de unidades geomorfológicas del Peñón Mayor en los años 1.980 y 2.000.



**FIGURA 4.5.** Diagrama porcentual de las áreas de las unidades geomorfológicas de la isla Santa Clara para 1980.

### AREAS DE UNIDADES GEOMORFOLOGICAS. 2000.



**FIGURA 4.6.** Diagrama porcentual de las áreas de las unidades geomorfológicas de la isla Santa Clara para el 2000.

Finalmente, se presentarán dos cortes topográficos (figura 4.7.) del Peñón Mayor hechos sobre una misma línea a partir de los mapas topográficos de dos años distintos (1980-2000), montados de tal forma que permita su comparación; y, la comparación planimétrica (1980-2000) de los peñones de la isla (figura 4.8.).

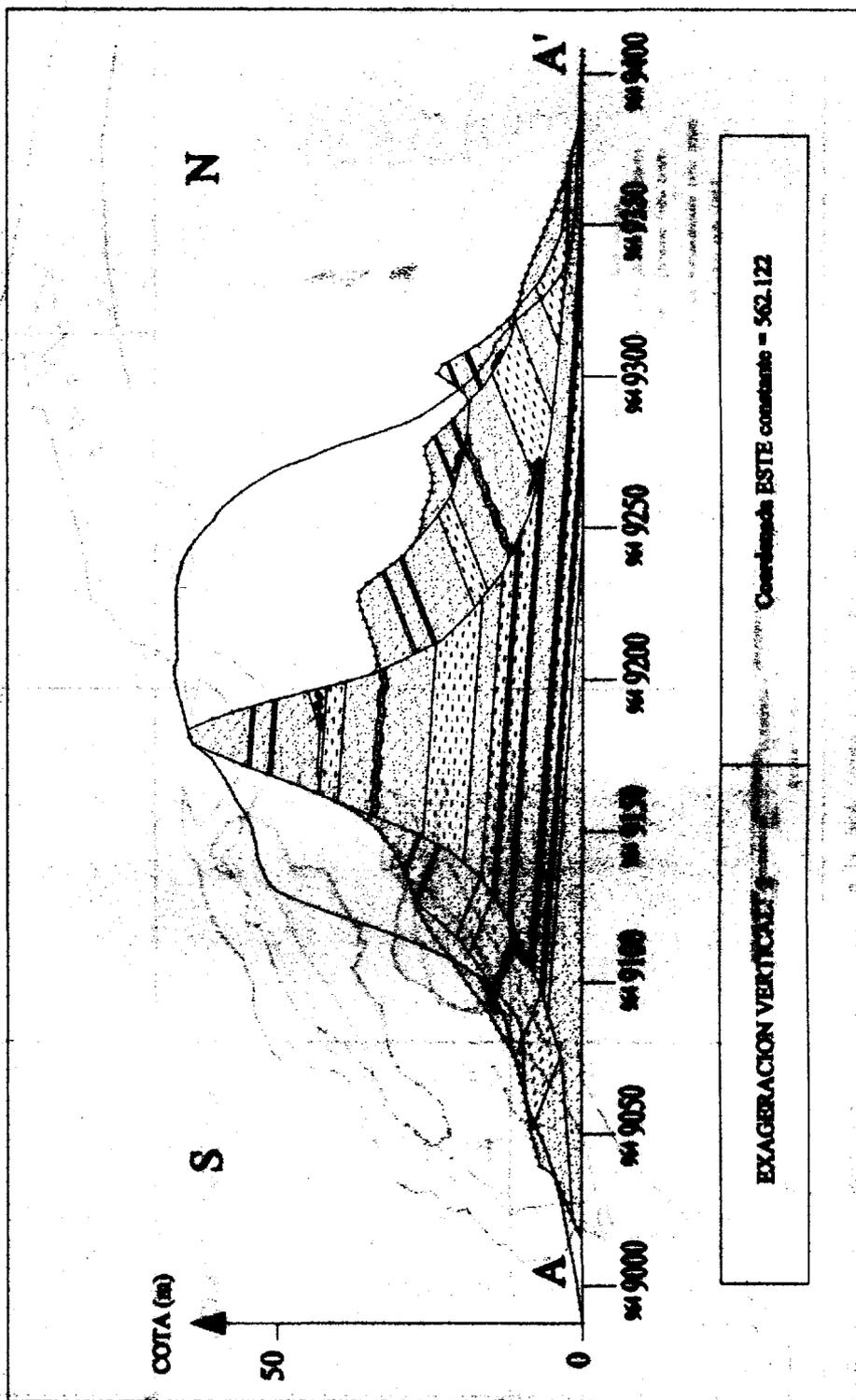


FIGURA 4.7. Comparación de perfil geológico A-A' (ver Lámina 3) del Peñón Mayor - año 2000, con el perfil topográfico realizado en la misma línea, a partir del mapa topográfico de tesis de Richard Vera del año 1981 (en azul).

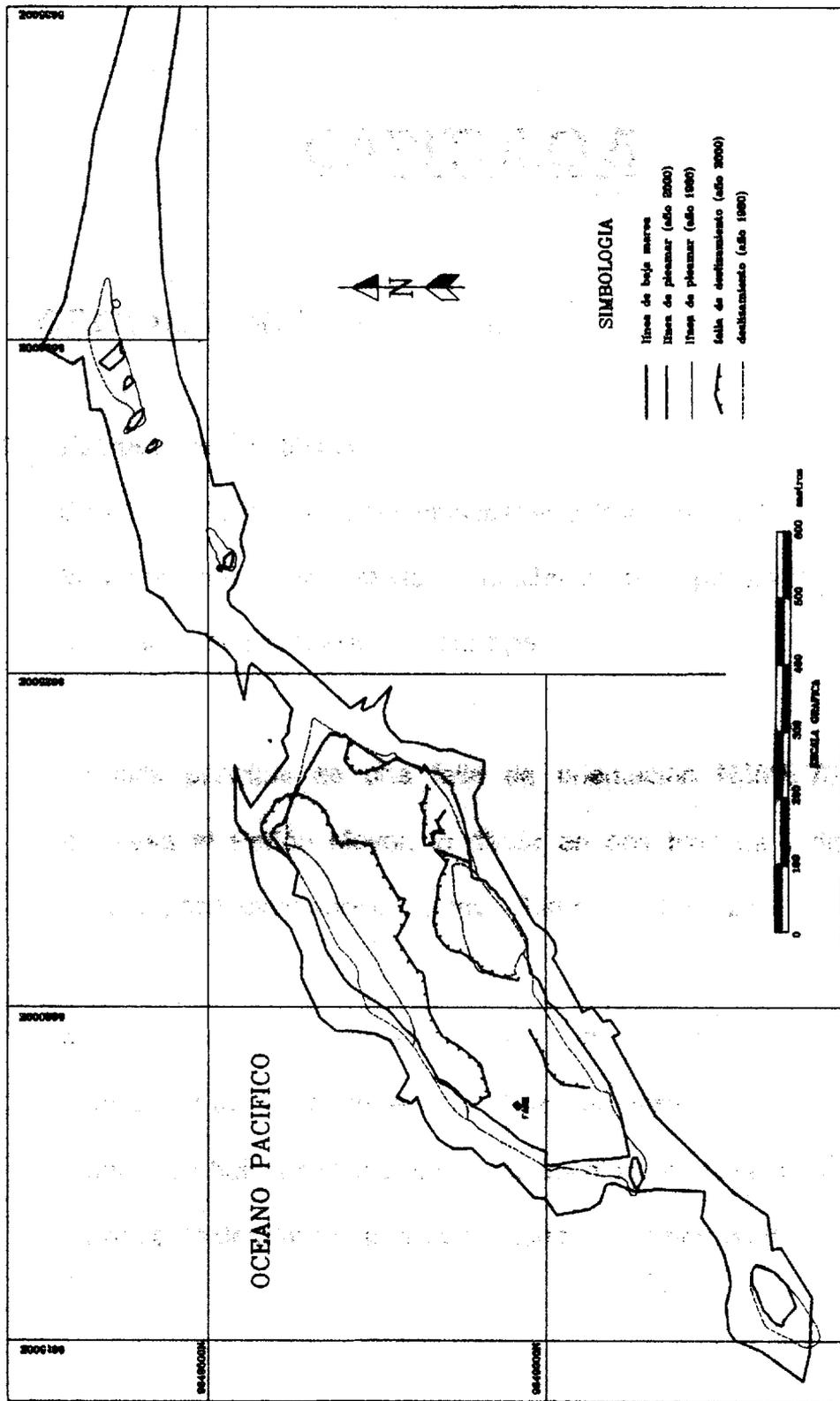


FIGURA 4.8 : Mapa Planimétrico Comparativo de la Isla Santa Clara. Años 1980 - 2000.

## CAPITULO 5

### **5. GEODINÁMICA INTERNA.**

#### **5.1. Estructuras Tectónicas.**

En la isla Santa Clara las principales estructuras tectónicas son una falla principal y otras fallas y diaclasas de importancia secundaria generalmente asociadas a la principal.

La falla principal es una falla de orientación N35°E/70°SE, que atraviesa al Peñón Mayor, lo divide en dos bloques y disturba los estratos, especialmente del bloque Suroriental (foto 22).

El plano de la falla principal (foto 22) presenta leves estrías con una orientación de 11° hacia el Sur. Esto demuestra que es una falla de rumbo. Se halló un clasto roto cerca del plano de falla que indicaba un movimiento dextral con una ligera componente normal (foto 23).



**FOTO 22.** Falla principal disturbando los estratos del bloque Suroriental (a la izquierda). Afloramiento ubicado en la punta Norte del Peñón Mayor. Obsérvese el relleno del plano de falla que alcanza los 5 metros si se mide horizontalmente.



**FOTO 23.** Clasto roto encontrado en la zona de falla asociada a la falla principal. Observar la dislocación dando un sentido de movimiento dextral.

Un grupo de fallas de orientación similar a la falla principal (foto 24) no presentó estrías ni rasgos que indiquen el tipo de su movimiento. En la mayoría de los casos estas fallas secundarias aparentan un movimiento de orden métrico.

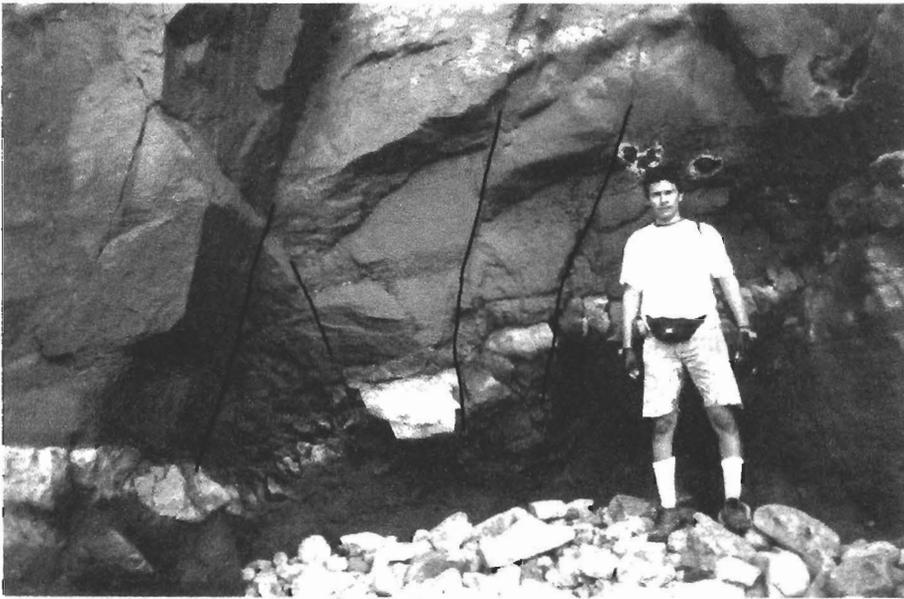
Existe otra familia de fallas, con una orientación promedio de  $N76^{\circ}O/34^{\circ}SO$ , cuyo movimiento fue interpretado sinistral por la aparente dislocación de planos de falla ubicados en la playa entre el Peñón Mayor y los Peñones Norteños. Tampoco presentan estrías y también aparentan dislocaciones de orden métrico.

## **5.2. Análisis Tectónico.**

Todas las discontinuidades (fallas y diaclasas) encontradas y medidas fueron graficadas en una red estereográfica (figura 5.1.), para luego separarlas en dos familias R y R', según la concentración de polos en el gráfico (figura 5.2 y 5.3). La primera familia (R), son fallas de alto ángulo ( $>70^{\circ}$ ) que tienen un rumbo similar al de la falla principal ( $N35^{\circ}E$ ) con buzamientos hacia el SE y hacia el NO (foto 24). La segunda familia (R') corresponde a las fallas de orientación promedio  $N76^{\circ}O/34^{\circ}SO$ .

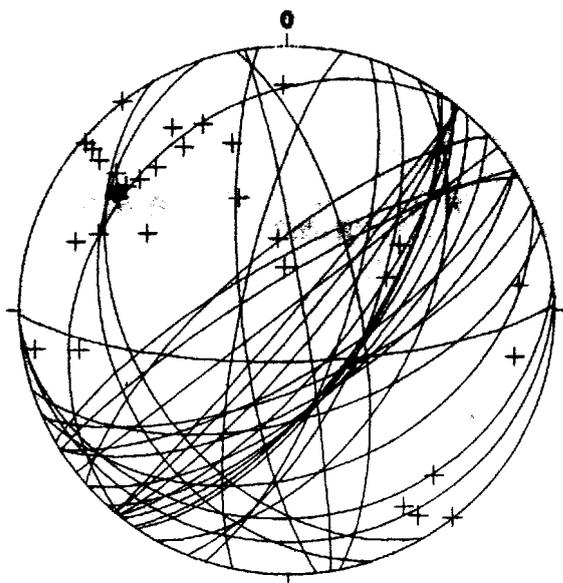
### 5.3. Modelo de Esfuerzos.

Estas dos familias R y R' conforman un sistema conjugado de fallas de rumbo, dextrales-sinestrales (figura 5.4.), resultante de las deformaciones que se generan en la zona de falla dextral.

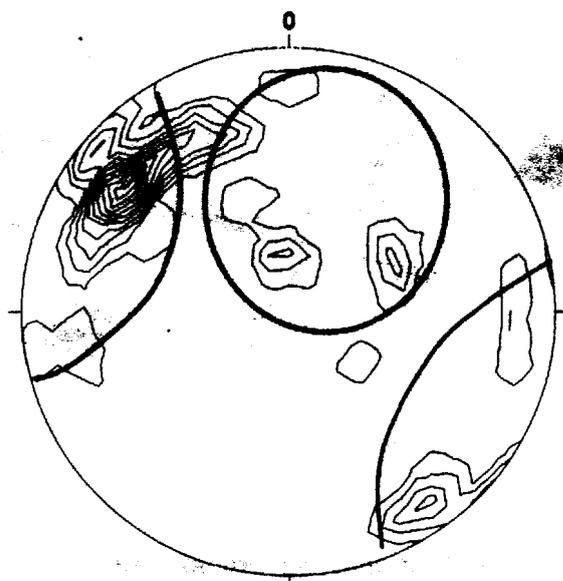


**FOTO 24.** Estratos dislocados por fallas de movimiento aparentemente normal (N34E/80NO).

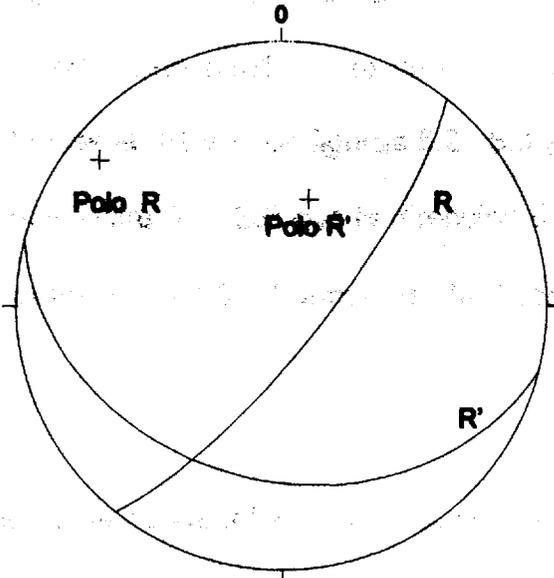
A partir de los datos presentados se detectó una dirección de paleoesfuerzo principal N70°E, pero este no puede ser extendido a nivel regional, por considerar a la isla dentro de una zona de falla (falla Guayaquil). Dentro de una zona de falla de rumbo, los esfuerzos principales suelen desviarse (Elementos de Tectónica Analítica, P. Vialon, 1991).



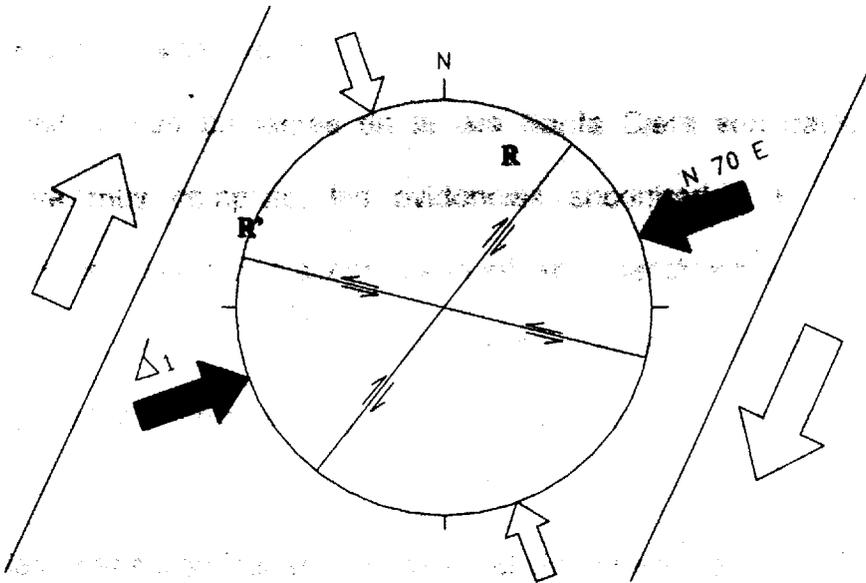
**FIGURA 5.1.** Fallas y diachases en proyección estereográfica. La falla principal se dibuja en rojo.



**FIGURA 5.2.** Diagrama de contornos según la concentración de polos. Dos familias identificadas: En azul la familia de promedio  $N76^{\circ}O/34^{\circ}SO$  (R') y en rojo  $N38^{\circ}E/76^{\circ}SE$  (R).



**FIGURA 5.3.** Planos promedios de las dos familias de fallas identificadas en la figura 5.2.



**FIGURA 5.4.** Interpretación de paleoesfuerzos, según método de fallas conjugadas y orientación inferida de la megafalla Guayaquil para las inmediaciones de la Isla Santa Clara.

Las dos familias de fallas identificadas son de orden secundario, asociadas a la falla Guayaquil. Este tipo de fallas están definidas como "fallas de Riedel" (R y R' en figuras 5.2., 5.3 y 5.4.). Las fallas R forman un ángulo entre  $5^{\circ}$  –  $25^{\circ}$  con la dirección de la falla principal y las fallas R' entre  $65^{\circ}$  -  $85^{\circ}$  (Elementos de Tectónica Analítica, P. Vialon, 1991).

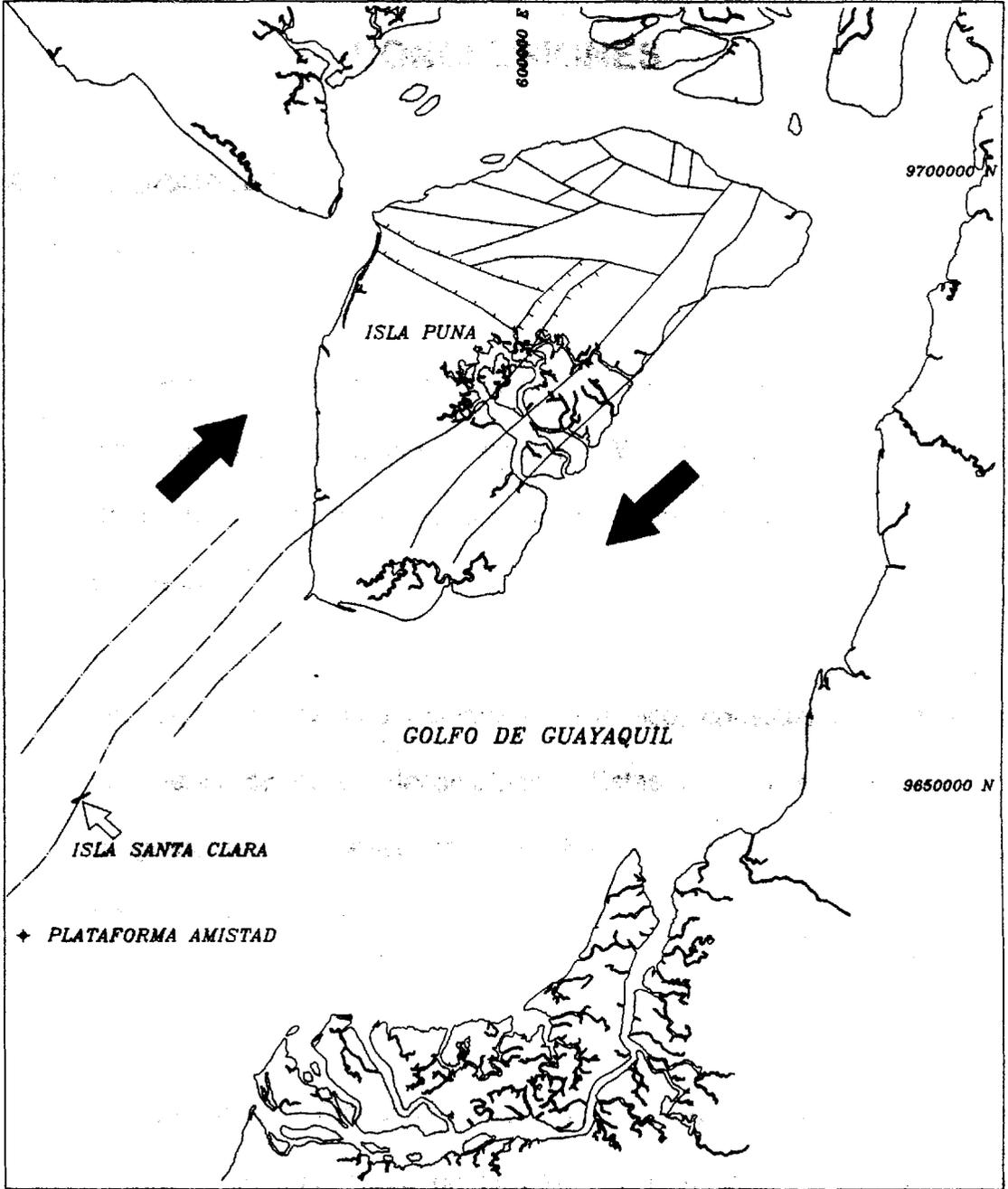
Bajo este modelo se puede inferir una dirección promedio para la falla Guayaquil en el área de la estructura Santa Clara que corresponde a  $N30^{\circ}E$ .

#### **5.4. Correlación Estructural.**

Las estructuras presentes en la isla Santa Clara son parte de un sistema muy complejo, las evidencias encontradas no resuelven mayormente las dudas acerca de la situación tectónico-estructural del alto Santa Clara. Sin embargo, a gran escala los datos ayudan a comprender el movimiento y configuración de la falla Guayaquil.

De las líneas sísmicas realizadas en el Golfo se sabe que al Sur de la isla existe un tren de fallas de tipo normal con rumbo promedio de  $N80^{\circ}E$ . Asimismo, al Norte y en la isla Puná (Figura 5.5) se han encontrado fallas normales que sufrieron inversión tectónica debido al

evento compresivo del Pleistoceno superior, con rumbo promedio N45°E. En la isla, como hemos visto se presentan fallas con direcciones N76°O y N38°E, que muy probablemente sufrieron también inversión. Lo que indica que la estructura Santa Clara se encuentra cerca de un punto de inflexión en la configuración de la falla Guayaquil, y que por lo tanto, es el rasgo expuesto de una concentración local de esfuerzos producto de esa configuración.



**Figura 5.5.** Correlación Estructural de las islas Puná y Santa Clara.

## CONCLUSIONES

### ***ESTRATIGRÁFICAS.***

1. Las rocas que afloran en la isla Santa Clara son depósitos de carácter detrítico, pertenecientes a la Formación Puná Inferior, datan del Plioceno medio a superior y fueron originados en dos paleoambientes sedimentarios: Estuarino – Deltaico, y Marino Plataforma Interna. La datación anterior dada en la tesis de grado de R. Vera (1981) fue Plioceno.
2. Los depósitos de tipo Estuarino – Deltaico, constituyen secuencias completas de orden decamétrico. Estas secuencias son de tipo progradante y comienzan con barras arenosas de marea o desembocadura, luego depósitos de llano de marea y finalmente algún depósito de lagoon o pantano.
3. Las secuencias Estuarino – Deltaicas, se repiten completamente al menos unas tres veces en la columna estudiada. Esta repetición puede deberse a fenómenos variados, tanto tectónicos (subsistencia),

eustáticos (regresión) o cambios laterales del comportamiento del río que forma el estuario – delta.

4. Las secuencias Estuarino – Deltaicas, corresponden a la zona intertidal y supratidal, están intercaladas por depósitos potentes de barras de marea o desembocadura y canales de marea.
5. Los sedimentos que conforman las areniscas de las secuencias Estuarino – Deltaicas, tienen dos fuentes: 1. La Cordillera Occidental, sedimentos aportados desde el Norte por el río Guayas que probablemente funcionaba ya, de forma similar a como lo hace en la actualidad. 2. El Complejo Metamórfico de El Oro, sedimentos aportados por algún río o algunos ríos desaparecidos durante la última transgresión, que corrían de Sur a Norte o de Oeste a Este.
6. Las secuencias Marinas de Plataforma Interna contienen un buen número de bancos de ostras. Sus afloramientos son reducidos debido a la erosión, ya que se encuentran en el bloque Sureste con relación a la falla principal. Contienen predominantemente potentes capas limolíticas muchas veces masivas, aunque también laminadas finamente.

7. De acuerdo con los datos litoestratigráficos y bioestratigráficos de la columna estudiada en la isla Santa Clara, existe una buena correlación con la estratigrafía del campo Amistad estudiada en base a registros eléctricos y análisis lito-bioestratigráficos en ripios de perforación. La información estratigráfica detallada del campo Amistad fue proporcionada por EDC.

### **GEOMORFOLÓGICAS.**

1. Las rocas de la isla Santa Clara son de carácter friable, lo cual permite:
  1. La excavación de profundos drenajes.
  2. El desprendimiento de cuñas de orden métrico y decamétrico.
  3. Grandes deslizamientos.
  4. El movimiento continuo de sedimentos deslizados hacia el mar.
2. Los fenómenos mencionados se han intensificado durante los últimos 20 años debido a lluvias fuertes, provocadas por la aparición de continuos fenómenos de El Niño desde 1982.
3. La isla Santa Clara en su conjunto ha perdido aproximadamente un 33% en su volumen rocoso, esto es,  $3'562.380 \text{ m}^3$ . El peñón más afectado fue el Peñón Norte que perdió cerca del 95% de volumen, debido a que se le retiró la cobertura de suelo, cuando a finales de los

años 70 fue trabajado con pala mecánica (bulldozer) por la empresa NorthWest, con el fin aplanarlo; dejando a este peñón expuesto a la erosión de las fuertes lluvias que se produjeron años después durante los fenómenos de El Niño.

4. Los deslizamientos del Peñón Mayor han crecido hasta ocupar el 44% de su área actual y ocupan un volumen de **905.464 m<sup>3</sup>**, que constituye el 25% del volumen actual del Peñón Mayor.
  
5. Los sedimentos que llegan al mar por deslizamientos son transportados por las corrientes de deriva litoral hacia el Norte y forman la flecha arenosa del Norte de la isla, que mide aproximadamente 1,5 Km.

### **TECTÓNICAS.**

1. Las estructuras tectónicas que afectan a la isla Santa Clara son todas estructuras asociadas a la zona de falla de rumbo dextral perteneciente a la falla Guayaquil que tiene dirección N30°E en las cercanías de la isla.
  
2. Las fallas que aparecen en la isla Santa Clara conforman un sistema similar al sistema de fallas que fueron medidas por W. Palacios

(1983) en la isla Puná y en los trabajos realizados en dicha isla por CEPE y Petroecuador. Esto probaría que la isla Santa Clara y la isla Puná fueron y están afectados por la misma tectónica.

## **RECOMENDACIONES**

A partir de datos estratigráficos y petrográficos de las rocas de edad Plioceno atravesadas en los pozos perforados en el Golfo y los datos presentados en esta tesis, se pueden hacer correlaciones, con el objeto de tener una mejor idea de la paleogeografía del Golfo en dicha edad geológica.

## **APÉNDICE A**

**CONVENIO:**  
EDC – PETROECUADOR

**MUESTRA:**  
L1

**ANALIZADO POR:**  
Luis Moreira Valdiviezo

**DESCRIPCION MACROSCOPICA:**

Roca compacta calcificada de color gris a marrón claro. Pertenece a un nódulo calcáreo. No puede notarse el tamaño de grano a simple vista. Abundantes micas en fragmentos de hasta 2 mm.

**DESCRIPCION MICROSCOPICA:**

**CLASIFICACION:** Calciarenita fina

**MINERALOGÍA MODAL (%)**

Cuarzo:	27.38
Feldespato:	10.97
Líticos:	13.76
Matriz/Cemento:	46.73
Porosidad:	nula
Otros:	1.16

**DIAGENESIS:**

Sobrecrecimiento: silice raro  
Cemento: calcita abundante

**TEXTURA**

Redondez: angulares  
Clasificación: bien clasificada  
Tamaño de grano: 0.134 mm  
Contacto entre granos: contactos puntuales, matriz portante

**POROSIDAD:** prácticamente nula, todos los poros fueron rellenos de calcita.

**NOTA:**

Granos de Qz monocristalino limpio, generalmente de forma alargada con bordes rectos. El cemento es calcáreo con un importante contenido de arcillas. Existe un buen porcentaje de granos de tamaño limo grueso.

**CONVENIO:**  
EDC – PETROECUADOR

**MUESTRA:**  
L2

**ANALIZADO POR:**  
Luis Moreira Valdiviezo

**DESCRIPCION MACROSCOPICA:**

Roca compacta calcificada de color gris a marrón claro. Pertenece a un nódulo calcáreo. No puede notarse el tamaño de grano a simple vista. Se observan fragmentos líticos de color rojo.

**DESCRIPCION MICROSCOPICA:**

**CLASIFICACION:** Calciarenita fina

**MINERALOGÍA MODAL (%)**

Cuarzo:	27.48
Feldespatos:	14.08
Líticos:	14.56
Matriz/Cemento:	42.24
Porosidad:	nula
Otros:	1.64

**DIAGENESIS:**

Sobrecrecimiento:	silíce raro
Cemento:	calcita abundante

**TEXTURA**

Redondez:	angulares
Clasificación:	bien clasificada
Tamaño de grano:	0.151 mm
Contacto entre granos:	contactos puntuales, matriz portante

**POROSIDAD:** prácticamente nula, todos los poros fueron rellenos de calcita.

**NOTA:**

Granos angulares de cuarzo monocristalino, de extinción recta. Ocurrencia de plagioclasas, feldespatos, etc. También se encontraron micas fragmentos aciculares, incluidas en los cuarzos. Existe un buen porcentaje de granos de tamaño limo grueso.

**CONVENIO:**  
EDC – PETROECUADOR

**MUESTRA:**  
L3

**ANALIZADO POR:**  
Luis Moreira Valdiviezo

**DESCRIPCION MACROSCOPICA:**

Arena de grano fino a muy fino de color gris con fragmentos de conchas de hasta 4 cm. Se nota gran cantidad de fragmentos micáceos. Pertenece a un nódulo calcáreo.

**DESCRIPCION MICROSCOPICA:**

**CLASIFICACION:** Calciarenita muy fina

**MINERALOGÍA MODAL (%)**

Cuarzo:	14.67
Feldespato:	6.61
Líticos:	4.50
Matriz/Cemento:	63.33
Porosidad:	nula
Otros:	10.89

**DIAGENESIS:**

Sobrecrecimiento: silice raro  
Cemento: calcita abundante

**TEXTURA**

Redondez: angulares  
Clasificación: moderadamente bien clasificada  
Tamaño de grano: 0.117 mm  
Contacto entre granos: matriz portante

**POROSIDAD:** nula, todos los poros fueron rellenos de calcita.

**NOTA:**

Granos alargados de cuarzo monocristalino, raro chert en granos finos de cuarzo policristalino. Se notan sectores donde el cemento pasa de calcita a una calcita algo arcillosa. Se encontraron cloritas y biotitas, cloritoide. Además foraminíferos y otras estructuras orgánicas.

Los granos de cuarzo son limpios de extinción recta, con bordes irregulares, unos pocos se encontraron rotos y fracturados.

**CONVENIO:**  
EDC – PETROECUADOR

**MUESTRA:**  
L4

**ANALIZADO POR:**  
Luis Moreira Valdiviezo

**DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA:**

Arenisca muy fina oscura se notan intercalaciones de arcillolitas oscuras y frecuentes fragmentos de micas.

**DESCRIPCIÓN MICROSCOPICA:**

**CLASIFICACION:** Arenisca fina limosa

**MINERALOGÍA MODAL (%)**

Cuarzo:	49.65
Feldespato:	22.47
Líticos:	24.75
Matriz/Cemento:	0.00
Porosidad:	nula*
Otros:	3.13

**DIAGENESIS:**

Sobrecrecimiento: sílice frecuente  
Cemento: no se observó.

**TEXTURA**

Redondez: angular  
Clasificación: moderadamente clasificado  
Tamaño de grano: 0.077 mm  
Contacto entre granos: no\*

**POROSIDAD:** no se midió\*

**NOTA:**

Granos de cuarzo angulares con bordes irregulares y extinción recta. Frecuentes cloritas, y otros minerales verdes recubriendo los granos de cuarzo. Se encontraron además micas como muscovita y en menor cantidad biotita. Abundancia relativa de granos de minerales opacos, líticos y materia orgánica, lo que le da la tonalidad oscura.

\* Debido a la característica deleznable de esta muestra y al método de preparación de la lámina no fue posible obtener una medida confiable de esta magnitud.

**CONVENIO:**  
EDC – PETROECUADOR

**MUESTRA:**  
L5

**ALIZADO POR:**  
Luis Moreira Valdiviezo

**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA:**

Conglomerado gradado y clasificación pobre. Los clastos tienen dimensiones que van hasta los 10 cm, generalmente alargados y compuestos en su mayoría de fragmentos de rocas ígneas y con cierta frecuencia cuarzo lechoso. Abundantes micas muscovitas tanto dentro de los clastos como en la matriz. Ciertos clastos presentan fracturas. La matriz es arena de color amarillento. Abundancia de micas muscovitas.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA (Matriz):**

**CLASIFICACION:** Conglomerado

**MINERALOGÍA MODAL (%)**

Cuarzo:	63.98
Feldespatos:	20.73
Líticos:	6.42
Matriz/Cemento:	8.87
Porosidad:	nula*
Otros:	0.00

**DIAGENESIS:**

Sobrecrecimiento:	no
Cemento:	restos de calcita frecuentes

**TEXTURA**

Redondez:	angular
Clasificación:	moderadamente bien clasificado
Tamaño de grano:	0.147 mm (matriz) arena fina
Contacto entre granos:	no*

**POROSIDAD:** no se midió\*

**NOTA:**

El análisis fue hecho a la matriz de la roca. Granos de cuarzo angulares con bordes rectos y extinción recta, generalmente alargados. Abundante cuarzo policristalino. Abundantes micas.

\* Debido a la característica deleznable de esta muestra y al método de preparación de la lámina no fue posible obtener una medida confiable de esta magnitud.

**CONVENIO:**  
EDC - PETROECUADOR

**MUESTRA:**  
L6

**ANALIZADO POR:**  
Luis Moreira Valdiviezo

**DESCRIPCION MACROSCOPICA:**

Arenisca de cuarzo de color marrón mal compactado, deleznable, con frecuentes muscovitas pequeñas, presenta cierto contenido de limo.

**DESCRIPCION MICROSCOPICA:**

**CLASIFICACION:** Arenisca media limosa

**MINERALOGÍA MODAL (%)**

Cuarzo:	38.28
Feldespato:	14.37
Líticos:	37.22
Matriz/Cemento:	0.00
Cemento:	0.00
Porosidad:	no*
Otros:	1.13

**DIAGENESIS:**

Sobrecrecimiento: sílice raro  
Cemento: cemento silíceo escaso, poca calcita

**TEXTURA**

Redondez: angular  
Clasificación: moderadamente clasificado  
Tamaño de grano: 0.150 mm  
Contacto entre granos: no\*

**POROSIDAD:** no se midió\*

**NOTA:**

La mayoría de los granos son de cuarzo monocristalino, angulares, de forma alargada con bordes irregulares, limpios, de extinción recta y en ocasiones ondulatoria. Es también común el cuarzo policristalino. Se encontraron micas, hornblenda, fragmentos de arcillolita, materia orgánica y algunos minerales opacos. Existe un buen porcentaje de granos de tamaño limo grueso.

\* Debido a la característica deleznable de esta muestra y al método de preparación de la lámina no fue posible obtener una medida confiable de esta magnitud.

**CONVENIO:**  
EDC – PETROECUADOR

**MUESTRA:**  
L7

**ANALIZADO POR:**  
Luis Moreira Valdiviezo

**DESCRIPCION MACROSCOPICA:**

Arena fina limosa color marrón amarillento. Se nota cierto contenido de arcilla y fragmentos visibles muy pequeños de micas.

**DESCRIPCION MICROSCOPICA:**

**CLASIFICACION:** Arenisca fina limosa

**MINERALOGÍA MODAL (%)**

Cuarzo:	36.32
Feldespato:	16.74
Líticos:	41.11
Matriz/Cemento:	0.00
Porosidad:	no*
Otros:	5.83

**DIAGENESIS:**

Sobrecrecimiento:	silice común
Cemento:	cemento silíceo escaso

**TEXTURA**

Redondez:	angular, algo esféricos
Clasificación:	moderadamente clasificado
Tamaño de grano:	0.098 mm
Contacto entre granos:	no*

**POROSIDAD:** no se midió\*

**NOTA:**

La mayoría de los granos son de cuarzo mono y policristalino, ligeramente recubiertos de arcilla. Se encontraron granos de cuarzo con bordes suturados. Existe un buen porcentaje de granos de tamaño limo grueso y fino.

\* Debido a la característica deleznable de esta muestra y al método de preparación de la lámina no fue posible obtener una medida confiable de esta magnitud.

**CONVENIO:**  
EDC – PETROECUADOR

**MUESTRA:**  
L9

**ANALIZADO POR:**  
Luis Moreira Valdiviezo

**DESCRIPCION MACROSCOPICA:**

Arcillolita arenosa gris amarillento. Se observan fragmentos de concha y manchas rojizas de alteración.

**DESCRIPCIÓN MICROSCOPICA:**

**CLASIFICACION:** Arcillolita arenosa

**MINERALOGÍA MODAL (%)**

Cuarzo:	15.96
Feldespatos:	11.84
Líticos:	1.42
Matriz/Cemento:	62.68
Porosidad:	nula
Otros:	8.10

**DIAGENESIS:**

Sobrecrecimiento:	no
Cemento:	no

**TEXTURA**

Redondez:	angular, alargados
Clasificación:	mala
Tamaño de grano:	0.044 mm
Contacto entre granos:	matriz portante o puntual

**POROSIDAD:** casi nula, poros rellenos de arcilla.

**NOTA:**

Matriz arcillosa abundante recubriendo algunos granos en la lámina. Los granos de cuarzo angulares con bordes irregulares, extinción recta. Abundante materia orgánica. Existe un buen porcentaje de granos de tamaño arena.

**CONVENIO:**  
EDC – PETROECUADOR

**MUESTRA:**  
L10

**ANALIZADO POR:**  
Luis Moreira Valdiviezo

**DESCRIPCION MACROSCOPICA:**

Arenisca limosa color beige, calcárea. Se observan estructuras en forma de tubo o dispuestas en forma de ramificaciones, probablemente se deba a bioturbaciones. Muestra tomada de un nódulo calcáreo.

**DESCRIPCION MICROSCOPICA:**

**CLASIFICACION:** Arenisca muy fina limosa

**MINERALOGÍA MODAL (%)**

Cuarzo:	28.90
Feldespato:	13.57
Líticos:	1.63
Matriz/ Cemento:	1.94
Porosidad:	nula
Otros:	2.85

**DIAGENESIS:**

Sobrecrecimiento: no  
Cemento: calcáreo abundante

**TEXTURA**

Redondez: angular  
Clasificación: moderadamente bien clasificado  
Tamaño de grano: 0.068 mm  
Contacto entre granos: puntual.

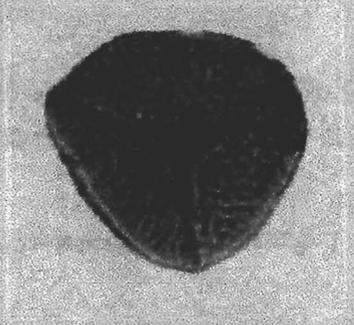
**POROSIDAD:** casi nula, poros rellenos de calcita.

**NOTA:**

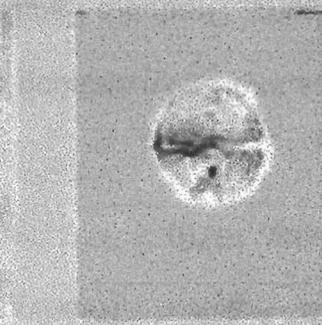
Cemento calcáreo abundante relleno de poros. Abundante granos de cuarzo angular con bordes muy irregulares. Existe un buen porcentaje de granos de tamaño limo grueso.

## **APÉNDICE B**

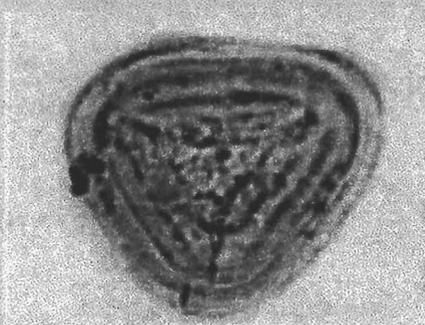
*Retinites somneri* (x100)



*Psilatricolporites divisus* (x100)



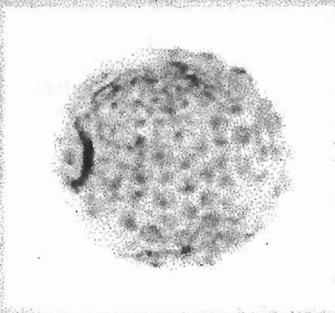
*Polypodiaceolporites* sp. (x100)



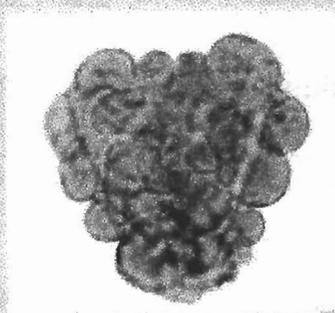
*Magnestrites howardi* (x100)



*Echitricolporites mantstellae* (x100)



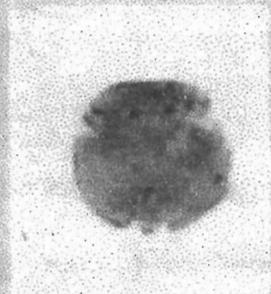
*Verrutites* sp. (x100)



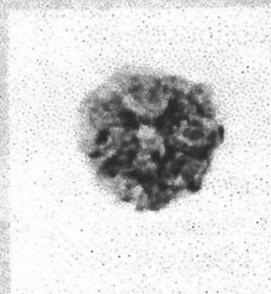
*Triletes* sp. (x100)



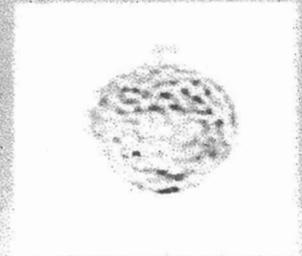
*Psilatricolporites operculatus* (x100)



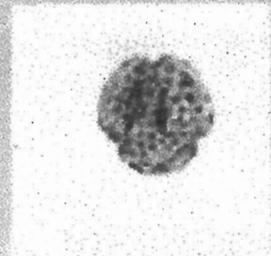
*Fenestrites spinosus* (x100)



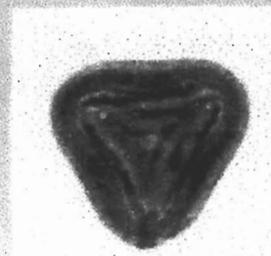
*Psilaperites minimus* (x100)



*Echitricolporites mcneillyi* (x100)



*Polypodiaceolporites pseudopillatus* (x100)

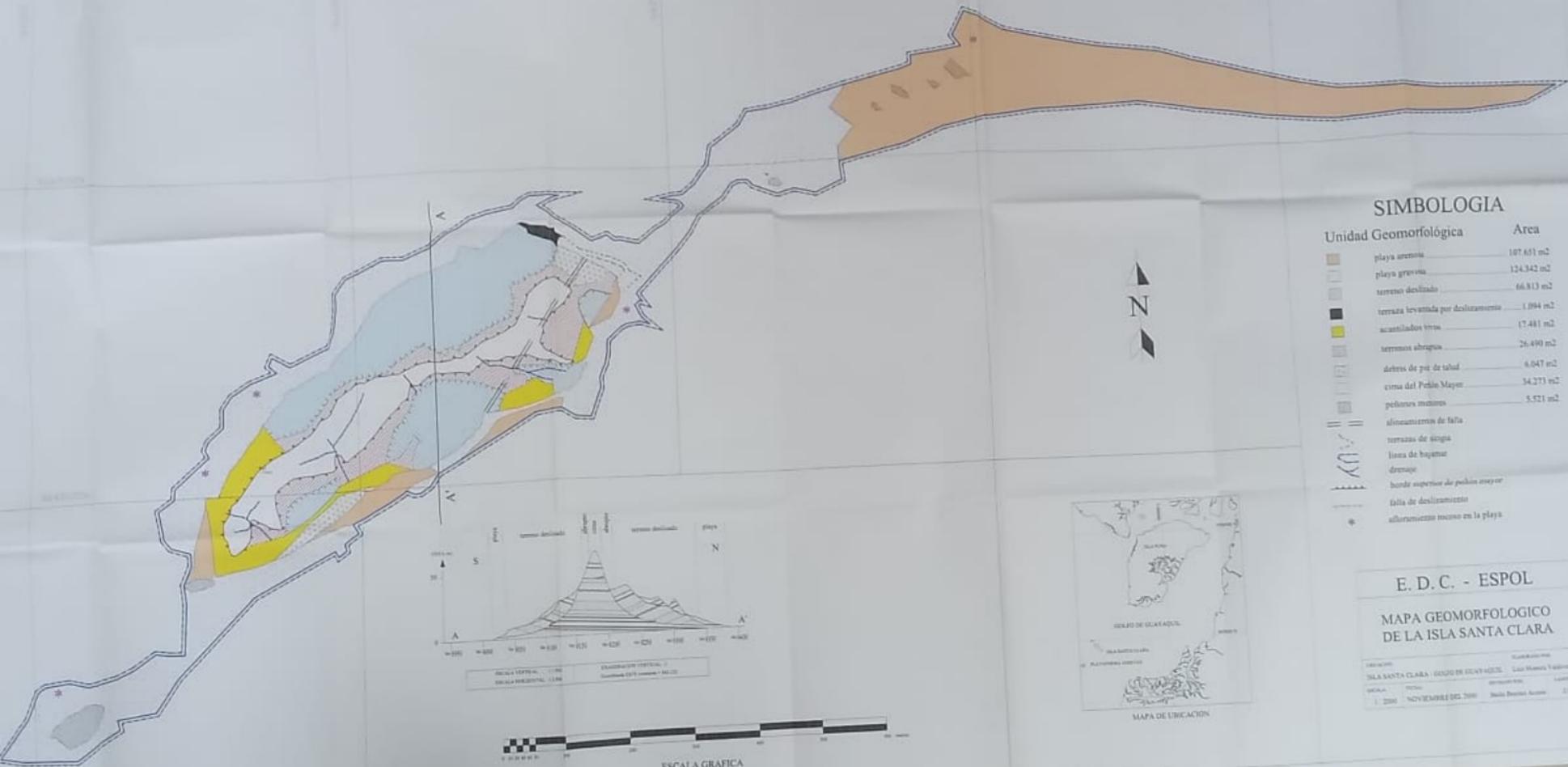


# BIBLIOGRAFÍA

1. ARCHE A., Sedimentología (Madrid: Consejo Superior de Investigaciones, 1992).
2. BENITEZ S., "Late Cretaceous to Eocene Tectonic – Sedimentary Evolution of Southern Coastal Ecuador: Geodynamic Implications".
3. BENITEZ S., "Morfología y Sedimentos de la Plataforma Continental del Golfo de Guayaquil". (Tesis de Grado, Departamento de Geología, Minas y Petróleos, Escuela Politécnica del Litoral, 1975).
4. BENITEZ S., "Évolution Géodynamique de la Province Côtière Sud-Ecuadorienne Au Crétacé Superior – Tertiaire", (Disertación Doctoral, ORSTOM, 1995).
5. CHOWDHORY R., "Slope Análisis" (Reading Netherlands, Elsevier Scientific Publishing Company, 1978).
6. CRUZ R., "Morphodynamics and Sedimentation of the Rio Guayas Delta, Ecuador". (Disertación Doctoral, Graduate Faculty of the Louisiana State University, 1974).

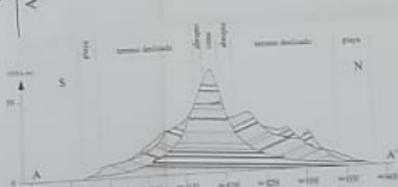
7. CSX OIL & GAS, "Amistad Gas Field Project: Block 3, Gulf or Guayaquil – Ecuador, Julio 1987.
8. DE VRIES KLEIN G., Clastic Tidal Facies (Illinois: CEPCO, 1997).
9. FAJARDO I., "Evaluación de Reservas: Area Amistad – Santa Clara" (Petroproducción, Noviembre 1990).
10. INOCAR, "Morfología y Estructura del Margen Continental de Ecuador". Manuel de Miró, Hector Ayón, Benito Benitez. Revista 1973.
11. LIONS R., "Evolución Tectono-sedimentaria del Golfo de Guayaquil desde el Mioceno hasta el Reciente". (Disertación Doctoral, ORSTOM-Petroecuador, 1995).
12. ORSTOM, "La Sedimentación en los Deltas y los Estuarios y las Cuencas Deltaicas", Guayaquil, Curso Enero 1993.
13. PETROPRODUCCIÓN, "Reporte Geológico y Evaluación del Potencial Hidrocarburífero del Bloque-3 en el Golfo de Guayaquil – Ecuador" Julio 1993.
14. REINECK H., "Depositional Sedimentary Environments: with Reference to Terrigenous Clastics". (Springer-Verlag, Segunda Edición, New York 1980).

15. ROMERO J., "Geología Estructural para Ingenieros: Técnicas y Aplicaciones", memorias de seminario dictado desde Octubre 27- Noviembre 1, 1997. (Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil – Ecuador).
  
16. SÁNCHEZ E., "Transporte Litoral en General Villamil (Playas)". (Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1978).
  
17. SHEPHERD G., "Shallow Crustal Structure and Marine Geology of a Convergence Zone, Northwest Perú and Southwest Ecuador". (Disertación Doctoral, Universidad de Hawaii, Mayo 1979).
  
18. VERA R., "Estudio Geológico detallado de la Isla Santa Clara". (Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1981).



### SIMBOLOGIA

Unidad Geomorfológica	Área
	playa arenosa 107.651 m <sup>2</sup>
	playa gruesa 124.342 m <sup>2</sup>
	terreno deslizado 66.813 m <sup>2</sup>
	terreno levantado por deslizamiento 1.094 m <sup>2</sup>
	acantilados vivos 17.481 m <sup>2</sup>
	terrenos abruptos 26.490 m <sup>2</sup>
	debris de pit de talud 6.047 m <sup>2</sup>
	cima del Peñón Mayor 34.271 m <sup>2</sup>
	peñones menores 5.521 m <sup>2</sup>
	alineamiento de falla
	terrazas de roca
	línea de bajamar
	drenaje
	borde superior de peñón mayor
	falla de deslizamiento
	aliviamiento rocoso en la playa



E. D. C. - ESPOL

MAPA GEOMORFOLOGICO DE LA ISLA SANTA CLARA

ELABORADO POR: ISLA SANTA CLARA - GULFO DE GUAYAQUIL - Ecuador

ESCALA: 1:2000

FECHA: 11/NOVIEMBRE DEL 2008

INSTITUCION: Instituto Tecnológico Superior de Esmeraldas

PROFESOR: Luis Moreno Valdivia

ESTUDIANTE: Mónica Patricia Cordero

CIUDAD: Esmeraldas

PÁGINA: 05





OCEANO PACIFICO



ESCALA GRAFICA

#### SIMBOLOGIA

- Línea del Mapa existente
- Línea del proyecto
- Camino
- Línea que representa los límites de la Isla
- Línea de demarcación



E. D. C. - ESPOL

#### MAPA TOPOGRAFICO DE LA ISLA SANTA CLARA

Escala: 1:50,000  
Isla Santa Clara - Insular de Esmeraldas - San Marcos, Esmeraldas  
Escala: 1:50,000  
1:50,000 - NOVIEMBRE DEL 2004 - Santa Rosa, Esmeraldas - 15