

Estudio morfo-genético de Bahía Caldera, Costa Rica

Víctor Freddy Saborío

RESUMEN. La zona de estudio denominada Unidad Caldera, está comprendida en la hoja básica Barranca No. 3.245 I, escala 1:50.000 del IGN, cubriendo un área de 42 km². Está caracterizada por una precipitación promedio anual de 1.600-2.000 milímetros; las temperaturas promedio oscilan entre 25-30°C., lo que determina un clima cálido seco-húmedo alternado. Los vientos predominantes son los alisios del noreste y de influencia monzónica provenientes del sur franco y del suroeste. Las direcciones del acercamiento del oleaje son del suroeste y, excepcionalmente, del oeste franco. La Celda Unitaria se caracteriza como una bahía protegida, con escasos aportes continentales líquidos y sólidos y un predominio de la deriva litoral y de un fuerte oleaje que influyen en la elaboración de áreas de sedimentación, de erosión y de barrido de sedimentos. Se han caracterizado, con base en la morfología y su impacto, en áreas de alta, media y baja energía; también se caracterizan las áreas con sedimentación prevaleciente y áreas con dispersión de sedimentos.

SUMMARY. The study zona called the Caldera Unit is included in the Barranca topographic map No 3.246, scale 1:50.000, published by the National Geographic Institute, covering an area of 42 km². The annual precipitation in

1.600-2.000 millimetres during the months of may through november, with an average temperature of 25-30°C. The predominant winds are either northeast "trade winds" or winds of monsoon influence originating from the south and southeast. The direction of the incoming waves is from the south-west and occasionally from the West. The Unitary Cell is characterized by a protected bay area composed of a limited liquid and solid continental support and in a predominance of the coastal drift and wave action in the development of sedimentation areas, erosion and sedimentation sweeps. A characterization is made based on the morphological and morphogenetic processes that are found in areas of high, medium and low energy levels, as well as in the prevalent sedimentation area and another of sediment dispersion.

RESUME. L'étude porte sur la zone appelée Unité Caldera, qui couvre 42 km². Ses caractéristiques climatiques correspondent à un climat tropical humide avec une saison sèche, marquée de cinq mois. La précipitation annuelle est de 1.600 à 2.000 mm; les températures moyennes oscillent de 25°C. à 30°C. Les vents dominants y sont, soit les alisés de NE, soit des flux de type mousson du S., ou du SW, ils déterminent la direction prédominante de la houle qui peut varier du SW à W., d'où la présence d'une dérive littorale de SW à NE, sauf dans la baie ou elle est flanquée de contre-courants. L'unité étudiée comprend donc une baie relativement protégée où prédomine la dérive littorale sur les apports liquides continentaux, fort peu importants. Ces mouvements, ainsi que la forte houle, ont déterminé l'emplacement des aires d'érosion et de celles en voie de colmatage. Le travail sur carte a consisté en une classification des aires en fonction de la morphologie, des processus morphogénétiques de la force des vagues, de la prédominance soit de la sédimentation, soit de l'érosion marine.

1. INTRODUCCION

El presente estudio comprende una sección del litoral pacífico central de Costa Rica de gran importancia económica ya que en él se ubica el principal puerto comercial del país.

Los datos obtenidos de informes y otros registros, señalan la zona como de elevado potencial portuario por sus características de fondeo, abrigo y acceso a los principales núcleos económicos de la región. Este carácter ha sido reforzado por la insuficiencia del puerto de Puntarenas para atender las demandas portuarias existentes. El gobierno de la República, ha decidido establecer en dicha zona un puerto para satisfacer tales demandas, ampliar el cabotaje y servir en forma más eficiente tanto las importaciones como las exportaciones. Tradicionalmente esta función ha sido cumplida por el puerto de Puntarenas.

La Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional, ha iniciado estos estudios con el fin de apoyar y consolidar las investigaciones en ciencias del mar y específicamente en geología marina y oceanografía física. El estudio morfogenético constituye la información de base para conseguir estos objetivos. La metodología empleada y los resultados obtenidos apoyan esta iniciativa y se muestran como un instrumento apropiado de análisis para el estudio de los elementos litorales y de los procesos que controlan la dinámica y equilibrio de las

zonas costeras. Constituyen en consecuencia un primer avance en el desarrollo metodológico del estudio de las ciencias del mar particularmente de la oceanografía física, morfogénesis y la geología marina.

Al efecto, se ha realizado un estudio multidisciplinario, geográfico, recurriendo a fuentes de muy variada índole y en particular a estudios de morfología litoral y de procesos costeros. De particular ayuda ha sido la fotointerpretación, la hidroclimatología, análisis de cuencas y el estudio de la dinámica costera.

2. METODOLOGIA

La primera fase de la investigación comprende una revisión de la literatura existente sobre la zona; de ésta, se da una lista en la bibliografía. No obstante, para ser una de las zonas de mayor interés económico para el país, son pocos los trabajos que se han realizado. Entre estos se destacan los de Madrigal (1967); Dengo (1960), los trabajos inéditos de los estudiantes graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA), realizados entre 1969 y 1974, así como los estudios de Economía Agrícola llevados a cabo por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) para definir la factibilidad del Proyecto de Carretera Ciudad Colón-Puerto Caldera (1976).

La cartografía existente, escala 1:50.000, así como la fotografía aérea, han permitido profundizar el análisis, de acuerdo con los objetivos del estudio, encontrando necesario calibrar la hoja básica, con fotografías de 1978 para lograr un buen nivel de análisis de la hidrografía y de las cuencas del área.

En la segunda etapa del estudio, se procedió a analizar los procesos geomórficos del área utilizando la fotografía aérea y acetatos de la hoja básica con curvas de nivel, cauces y nombres geográficos. Lo anterior permitió ahondar en el análisis, especialmente geomorfológico. En efecto la delimitación de las unidades se realizó, utilizando topografía, escorrentía y drenajes. Lo mismo se puede decir para el caso de la geología y en particular de las estructuras.

Con base en las fotografías aéreas de 1958 y 1978, fue posible determinar las direcciones predominantes del oleaje de la zona de bahía, así como caracterizar la unidad y sus subunidades en términos de procesos geológicos costeros. Así mismo de los procesos de erosión y construcción predominantes durante el período considerado.

El estudio del régimen hidroclimático permitió determinar la naturaleza de los aportes continentales en la zona, líquidos y sólidos, para explicar la existencia de las unidades litorales (playas, esteros, acantilados, depósitos coluvio-aluviales, etc.). Al mismo tiempo que definir las áreas de mayor significación en el contexto del aporte de sedimentos al área de bahía y en particular del puerto de Caldera.

La terminología empleada en el análisis de cuencas es la propuesta por Linsley, Paulus y Kohler (1977) complementada con el estudio de pendientes y

MAPA INDICE



0 Esc 1:50 000 2
Kms



escurrimiento, utilizado por el IICA (1975) y adoptado por agrónomos en forma generalizada.

El criterio de Celda Unitaria (unit-cell) ha sido empleado con éxito en el estudio de las zonas litorales de California (*Southern California Association of Governments*, 1975) y en áreas específicas de Costa Rica (Chaves y Hodder, 1977). Metodológicamente ofrece las ventajas de trabajar con áreas en las cuales se identifican procesos geológicos suficientemente característicos y circunscritos, definidos por la dinámica litoral, marina y continental.

Con base en las características del oleaje, de la deriva litoral, residencia y dispersión de los sedimentos, así como de las estructuras presentes, se han identificado subunidades con niveles de energía que determinan el perfil litoral (morfogénesis) y las características del mar somero y su área de influencia inmediata.

El trabajo de campo fue realizado en dos etapas: de reconocimiento y de prospección; lo anterior permitió levantar la información de base para el desarrollo del tema. La primera etapa se realizó durante febrero y marzo y la segunda en junio y julio del año en curso. De esta forma fue posible hacer las observaciones pertinentes en los períodos climáticos característicos.

3. OPERACIONALIZACION

Durante la ejecución del trabajo se fue formando un banco de datos de los diferentes tópicos tratados. Más tarde fueron convertidos en los sistemas de formación del estudio: digitales y analógicos.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 Análisis documental

Comprendió la lectura, análisis, y selección de estudios realizados en el área, de los cuales fue posible obtener valiosa información de base.

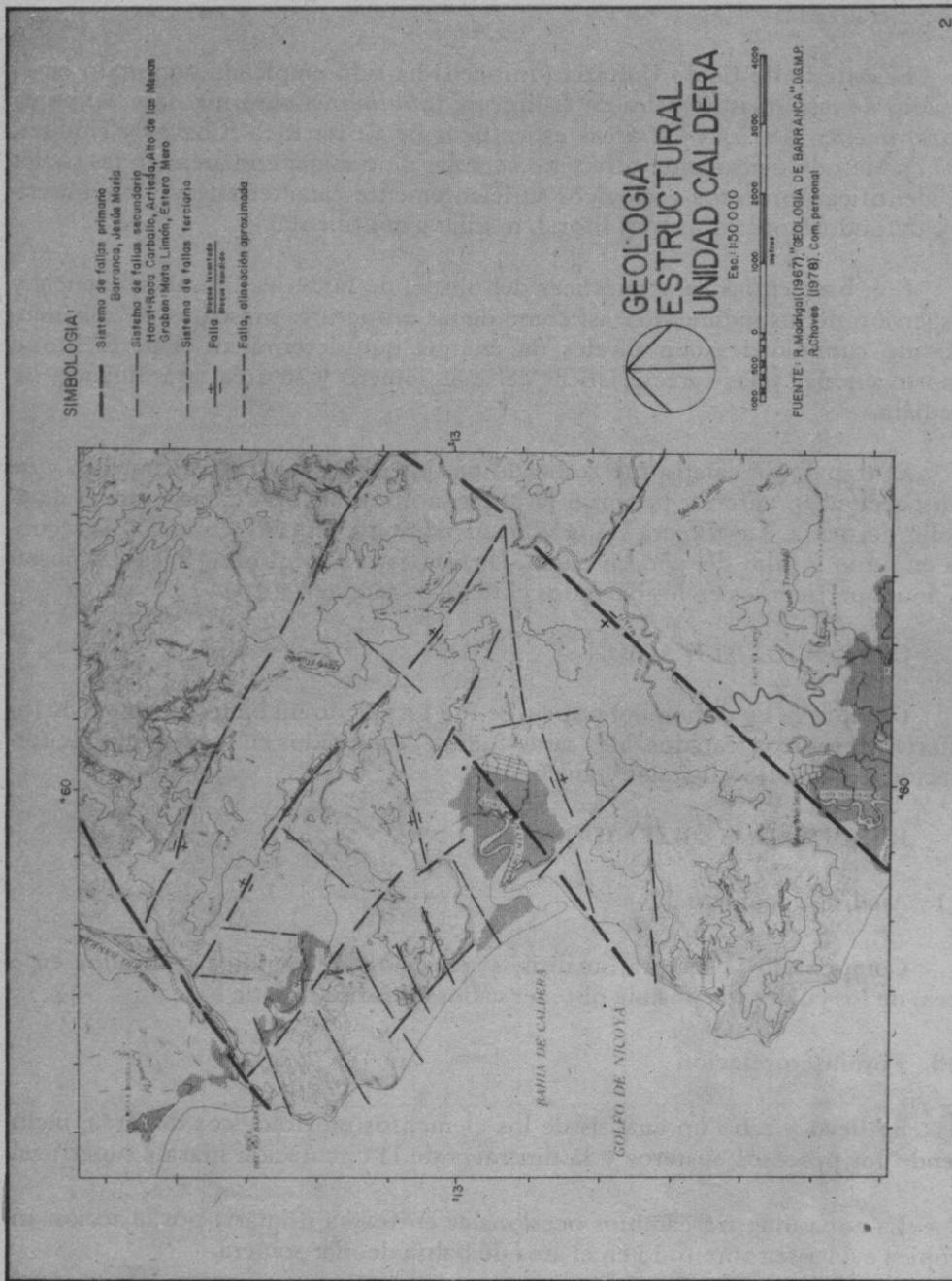
4.2 Fotointerpretación

Se llevó a cabo un análisis de los elementos morfológicos del área, incluyendo los procesos costeros y la dinámica de la circulación marina superficial.

La zona muestra cambios ocasionales en forma primaria por la acción antrópica evidente sobre todo en el área de bahía de mar somera.

4.3 Reconocimiento de campo

Fue realizado con dos fines específicos: reconocimiento de la morfología general, con ayuda del mapa topográfico y las fotos aéreas, y el levantamiento de la morfometría específica de la línea de costa.



4.4 Geología

La zona de estudio localizada en el litoral, participa de los elementos geológicos que caracterizan todo el litoral pacífico central de Costa Rica, formado por una secuencia de rocas clásticas marinas de edad terciaria que se apoyan en forma discordante sobre el complejo de Nicoya.

En la zona estudiada no aflora el Complejo, y la serie se inicia con la unidad punta Carballo de edad seguramente mioceno medio-superior. Hacia la región de Tárcoles y Herradura, sin embargo, el complejo de Nicoya es extenso.

Cabe señalar que la zona está comprendida dentro de las fallas de Barranca y Jesús María, del sistema de afallamiento postterciario que atraviesa el país de oeste a este a lo largo de todo el eje del orógeno principal o arco interno (Dengo, 1962).

4.4.1 Geología estructural

La unidad Caldera, en el litoral pacífico central de Costa Rica, está comprendida entre dos fallas de alineación SW-NE de posible edad terciaria, reactivados en el cuaternario en diferentes etapas.

Estas fallas son: la Barranca en el extremo NE, y la Jesús María por el SE, prácticamente paralelas entre sí y transversales al sistema de afallamiento principal del orógeno (NW-SE).

Es así que como resultado de compresiones y distensiones, separadas en el tiempo, se han originado en su interior estructuras secundarias y terciarias, tales como horst, grabens, fallas de cizalla y fallas escalonadas. También se caracteriza el área por diaclasado y afallamientos ocurridos durante el cuaternario, posteriores al emplazamiento de la toba de Orotina.

Las unidades estructurales de mayor relevancia dentro de la Unidad Caldera son las que a continuación se describen.

Alto de las Mesas

Se localiza entre punta Caldera y cerro Coyolar con alturas promedio de 160 m. y una elevación general SW-NE. Este bloque, delimitado por la falla de Jesús María y el estero Mata de Limón, está definido en su sección N-NE por una falla SW-NE posiblemente contemporánea de la anterior. Todo el conjunto aparece desplazado verticalmente formando un horst. En las partes altas es plano y hacia los flancos presenta taludes muy pronunciados. La forma general es de una cuña o bloque, comprendido entre fallas gravitacionales.

Graben Mata de Limón

Controlado por dos fallas principales: falla de cizalla antes mencionada, una segunda paralela a ésta y separada de 1,5-2,0 km. En el interior está la zona

del estero. La tercera falla está localizada en el extremo este y su rumbo es NW-SE y es una extensión de la falla NW-SE del graben de Artieda que se describirá más adelante. Este graben ha sido rellenado en diferentes períodos, en particular, por los aportes continentales del Jesús María. Este, en épocas pasadas se drenaba a través del paso de Cambalache.

Graben Estero Mero

Paralelo al horst de Artieda y comprendido entre fallas gravitacionales negativas de orientación NW-SE tiene un ancho de 2 km. promedio. En la sección norte hay un alto estructural, conocido como Cerro Pavitas, de edad más reciente. Hacia el sur hay otro alto estructural determinado por el cerro Barbudal y fila Carballo. La topografía del interior del graben, así como el aspecto de los materiales dan la idea de una colmatación lacustre.

Horst Artieda

Comprendido entre las fallas de la quebrada Barbudal y de Artieda presenta un rumbo NW-SE, una extensión de 8 km. y un ancho promedio de 1,25 km. Constituye un alto estructural con la divisoria de aguas a una altura de 200 m. En el extremo NW remata contra la falla de Barranca, hacia el SE con la falla de Jesús María.

Horst La Moncha

Se extiende desde la boca del río Barranca en el extremo NW, hasta Mata de Limón en la parte SE, con un rumbo general NW-SE. La extensión del alto estructural es de 4,5 km. La altura promedio es de 100 m. Se destaca en la zona un sistema de fallas SW-NW reactivadas en el cuaternario.

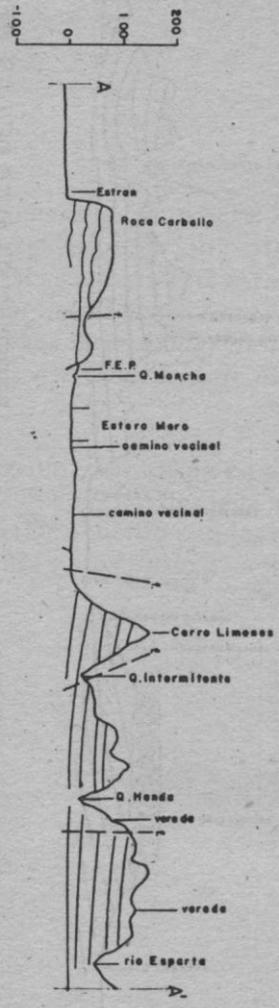
La unidad estructural está comprendida entre las fallas gravitacionales del Mero y litoral.

El aspecto más sobresaliente del sistema estructural descrito se refiere a la dirección del empuje, proveniente del SW, moderado en energía y en apariencia de carácter compresivo y de distensión, característico de áreas circumpacíficas, cercanas a zonas de subducción.

Interpretación de los perfiles

Los perfiles permiten analizar las formas topográficas en relación con la estructura geológica y los procesos de erosión que les han determinado. En general destacan el carácter plano de las cimas en los que aflora la unidad Orotina, y zonas disectadas, maduras, características de la unidad, punta Carballo, que forma las estructuras predominantes del área del tipo Horst y Graben.

La unidad punta Carballo está levemente plegada y busca en general hacia el Este. La tectónica es del tipo gravitativo, en movimiento de bloques en sentido vertical; a lo largo de estas fallas se han acomodado los principales cauces de la zona (ver mapa 2).



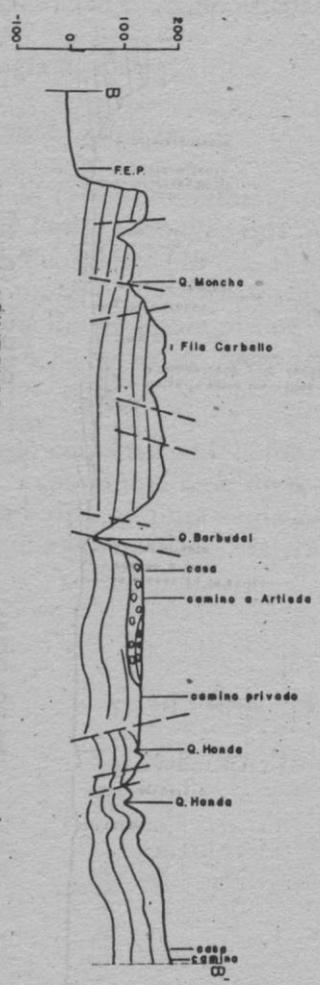
PERFIL (A-A') ROCA CARBALLO - CERRO LIMONES

Esc. Horiz. 1:50 000 Esc. Vert. 1:10 000

Exageración vertical: 5 veces

Longitud: 8,500 km. Rumbo: SW-NE

SIMBOLOGIA:
 [Hatched box] Formación Punta Carballo
 [Dashed line] Falla



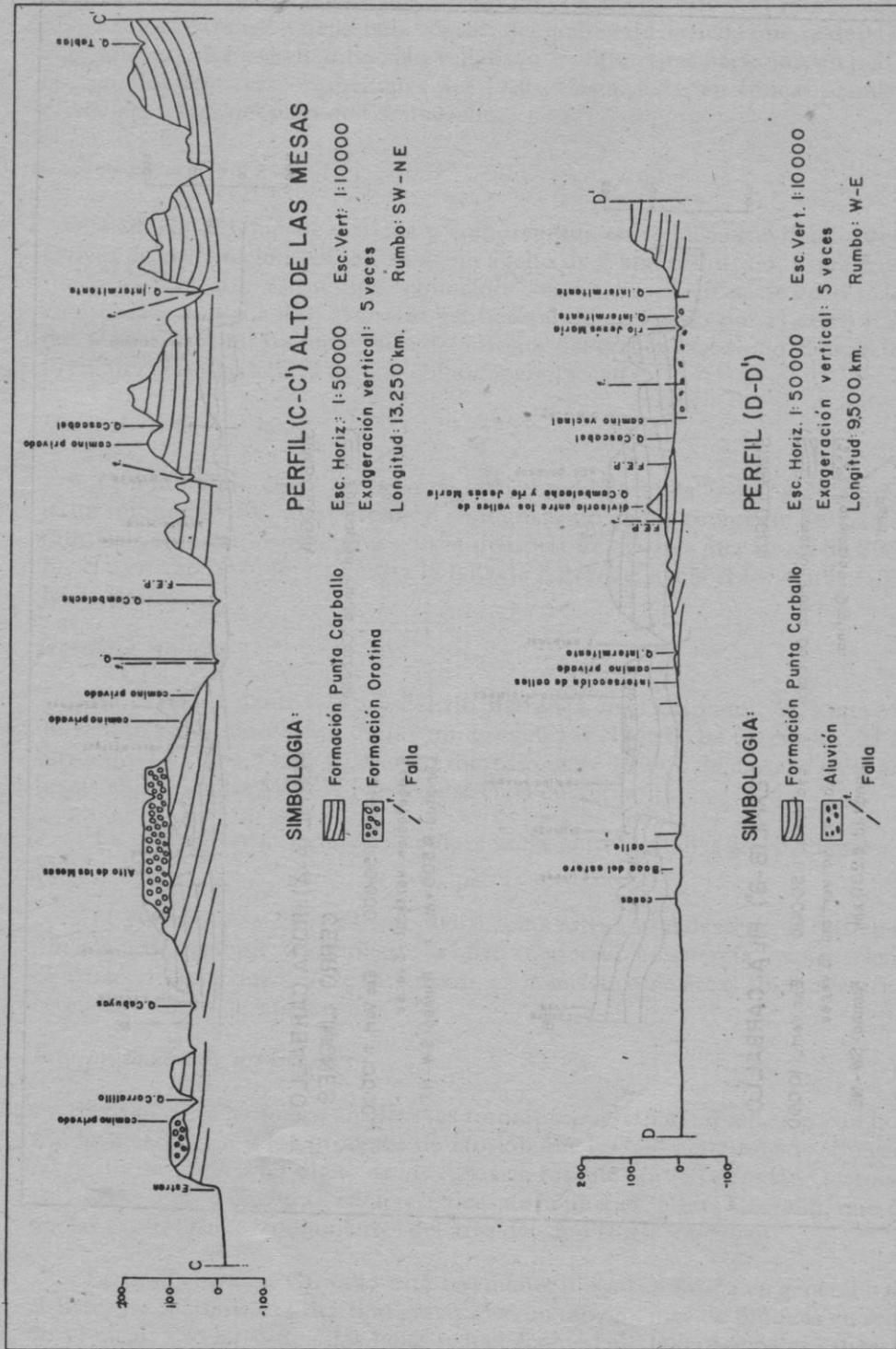
PERFIL (B-B') FILA CARBALLO

Esc. Horiz. 1:50 000 Esc. Vert. 1:10 000

Exageración vertical: 5 veces

Longitud: 8,250 km. Rumbo: SW-NE

SIMBOLOGIA:
 [Hatched box] Formación Punta Carballo
 [Dotted box] Formación Orofina
 [Dashed line] Falla



PERFIL (C-C') ALTO DE LAS MESAS

Esc. Horiz.: 1:50000 Esc. Vert.: 1:10000
 Exageración vertical: 5 veces
 Longitud: 13.250 km. Rumbo: SW - NE

SIMBOLOGIA:

-  Formación Punta Carballo
-  Formación Orotina
-  Falla

PERFIL (D-D')

Esc. Horiz.: 1:50000 Esc. Vert.: 1:10000
 Exageración vertical: 5 veces
 Longitud: 9500 km. Rumbo: W-E

SIMBOLOGIA:

-  Formación Punta Carballo
-  Aluvión
-  Falla

La morfología plana podría inducir en el error de asumir como superficie de erosión el nivel de los 100 m. La estructura y la litología, muestran que se trata de la unidad Orotina en discordancia sobre la unidad punta Carballo, tratándose de una toba se depositó en forma horizontal, discordante.

La toba fue depositada en forma subárea, lo que hace suponer que al depositarse ya la unidad Carballo estaba por sobre el nivel del mar.

4.4.2 Geología histórica

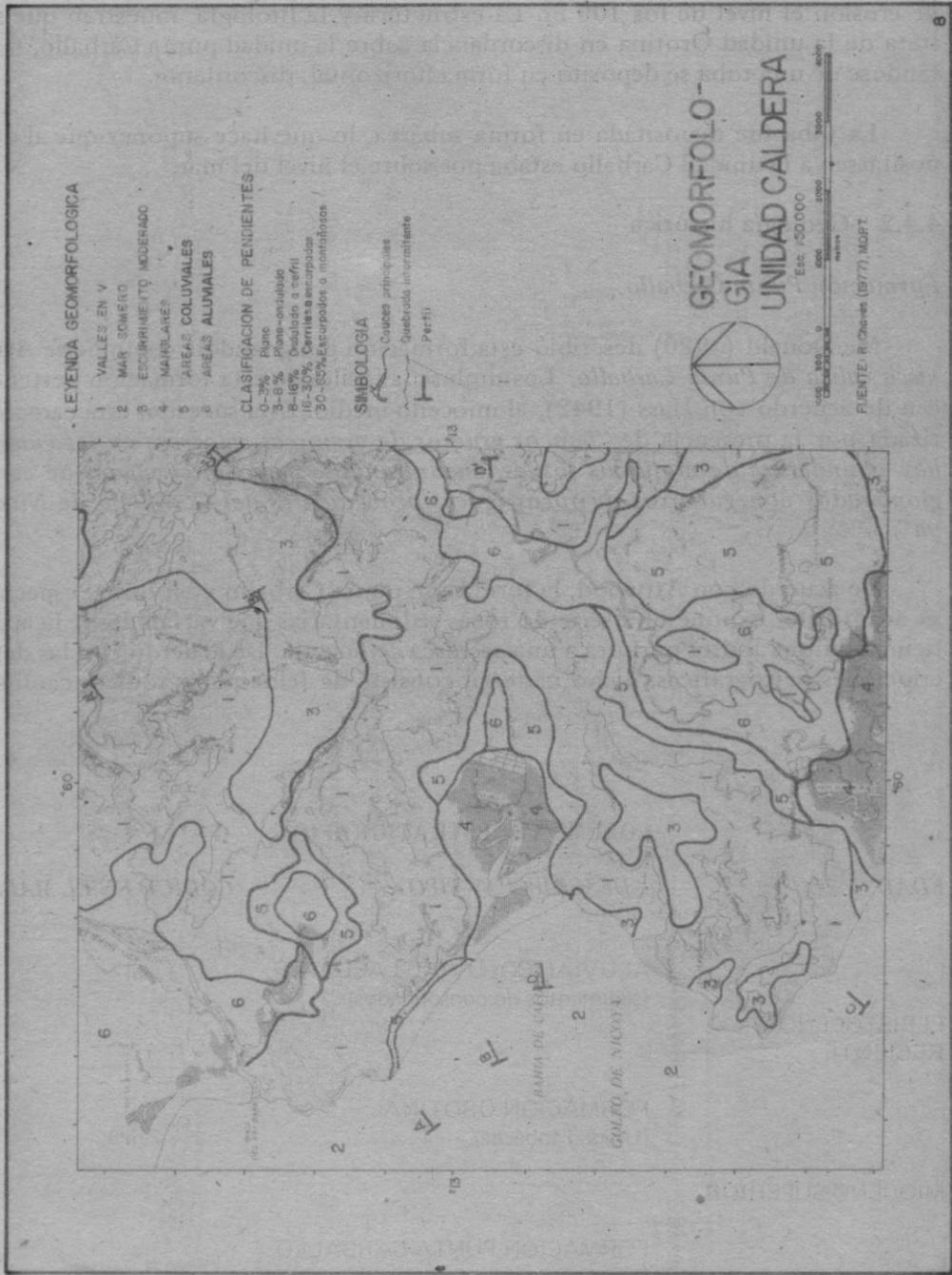
Formación Punta Carballo

Mc Donald (1920) describió esta formación designándola como *Serie Arenisca caliza de Punta Carballo*. Los moluscos fósiles de esta formación pertenecen de acuerdo con Hass (1942), al mioceno medio. Esta sucesión está caracterizada por la presencia de "bancos gruesos de areniscas calcáreas en las cuales hay abundancia de moluscos fósiles, encontrándose capas intercaladas de conglomerados con guijarros de rocas ígneas provenientes del Complejo de Nicoya".

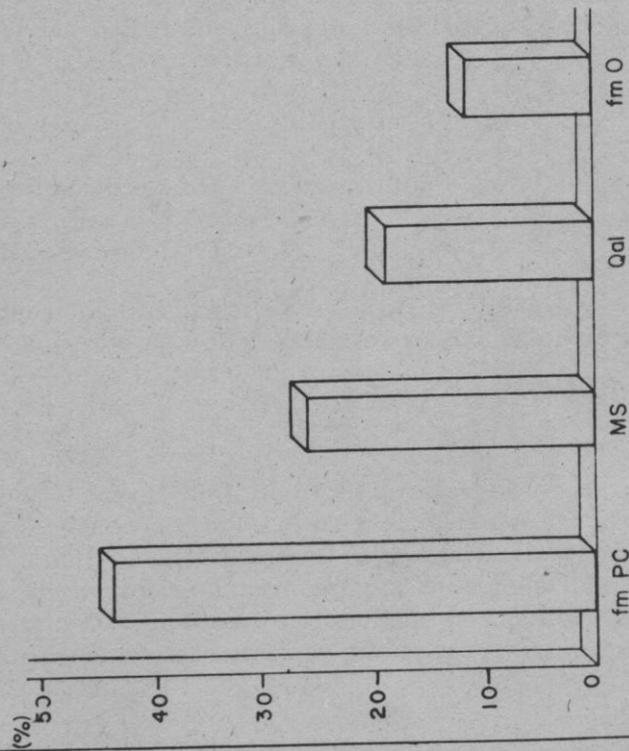
De acuerdo con Attwood, la formación punta Carballo y en forma especial su acantilado, expone una serie de rocas sedimentarias que varían desde la apariencia de una lodita púrpura a una arenisca cenicienta. De acuerdo con las descripciones petrográficas, dicho material consiste de feldepatos sódicos caolini-

COLUMNA ESTRATIGRAFICA		
EDAD	DESCRIPCION TIPO	CODIGO EN EL MAPA
PLEISTOCENO Y RECIENTE	ALUVIAL-COLUVIAL-LACUSTRE (sédimentos no consolidados)	Qal
	FORMACION OROTINA (Unidad tobácea)	FmO
MIOCENO SUPERIOR	FORMACION PUNTA CARBALLO (Areniscas verdes fosilíferas)	FmPc
MIOCENO MEDIO		

Fuente: Madrigal (1967)

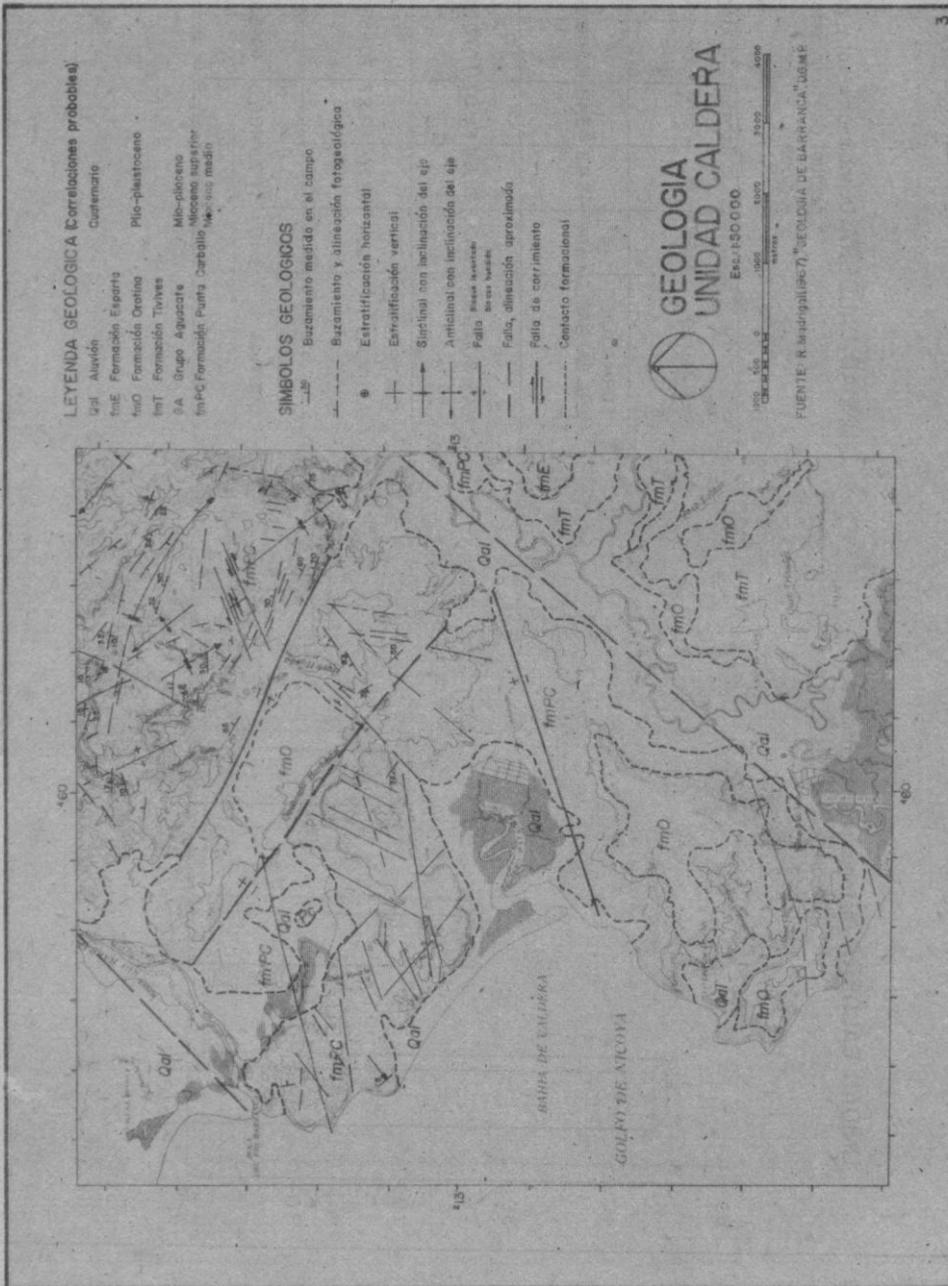


UNIDAD CALDERA: Distribución porcentual de unidades geológicas



UNIDAD CALDERA: Distribución areal y porcentual de las unidades geológicas

UNIDAD	SIGLA	%	TOTAL AREA	
			ACUM - KM	ACUM
FORMACION PTA CARBALLO	fm PC	43.43	43.43	1824018240
MAR SOMERO	MS	25.64	69.07	1177029010
CUATERNARIO ALUVIAL	Qal	19.20	88.27	706537015
FORMACION OFOTINA	fm O	11.73	100.0	492542000



zados. Esta formación presenta cambios laterales muy evidentes a corta distancia, de modo que en un espacio de unos cien metros hay una variación de una ceniza friable y fosilífera a una zona de depósitos de conchas de color verdoso muy compacto, estos cambios en los depósitos de fósiles hacen pensar que dichos depósitos son de poca profundidad.

Miembro Inferior, Punta Carballo

Mioceno Medio y Superior

La sección tipo se encuentra en los acantilados al oeste de Caldera y está representada por areniscas varicolores, fosilíferas hacia la base, con contenido de xilópalos. El espesor medido es de 78 m. El grano de las areniscas es de fino a grueso, con pasajes a limolita.

Miembro Inferior, Mata de Limón

Mioceno Medio-bajo

Sección de Mata de Limón

Está constituida por una secuencia de sedimentos volcánicos estratificados con prevalencia de limolitas y areniscas tobáceas interestratificadas con brechas y conglomerados de la misma naturaleza. La sección se localiza entre el estero de Mata de Limón y la playa del Silencio. En esta área las capas están afectadas en alto grado por sedimentos deltaicos y litorales.

Sección Barbudal

Este, aparentemente yace discordante sobre los materiales volcánicos de Mata de Limón y asignados tentativamente a la parte superior de este miembro de la formación Barranca.

La litología es de brechas tobáceas, con partículas de grano fino cineríticos, conglomerado tobáceo con fragmentos redondeados de lava hasta de 15 cms. escoriáceas, algunas y otras compactas.

Formación Orotina

Plio-Pleistoceno

Descrita por Dengo (1960). El origen de estas ignimbritas es incierto. Pero parece haberse originado por fallas al pie de los Montes del Aguacate. Esta unidad ha sido la penúltima en depositarse, descansando sobre las lavas de Tivi- ves y encontrándose cubierta únicamente por el fanglomerado de Esparza. Esta ignimbrita consta de tres unidades de las cuales la superior e inferior son muy similares, distinguiéndose la central por presentar estructura prismática columnar.

Describe ignimbritas en los ríos Jesús María y Machuca, como masas caóticas no estratificadas, de fragmentos de tamaño variable de pómez negra, gris oscura y gris clara, incluidos en una matriz deleznable de ceniza vítrea y lapilli.

Cuaternario Aluvial

Está representado por aportes continentales fluviales, depositados en áreas

planas y en las desembocaduras de los ríos del área; así mismo en las áreas de playa por la acción combinada de las descargas fluviales y de la actividad litoral. En general son depósitos de arena, grava y limo.

Los materiales asociados coluviales, son depósitos por gravedad, angulosos, sin transporte. En áreas adyacentes están formados por bloques de varios tamaños derivados principalmente de la unidad punta Carballo.

4.4.3 Tipología litoral

La unidad Caldera está comprendida entre el promontorio denominado Roca Carballo, cerca de la desembocadura del río Barranca y el promontorio de Punta Corralillo por el sur. Dentro de la unidad se distinguen a la vez tres subunidades que son en su orden: el compartimiento Caldera-Roca Carballo, Mata de Limón y hacia el sur el compartimiento de Corralillo.

Generalidades de la unidad Caldera

Los límites propuestos comprenden tanto los límites morfológicos, continentales, que determinan los procesos geológicos, así como la extensión marina de influencia inmediata.

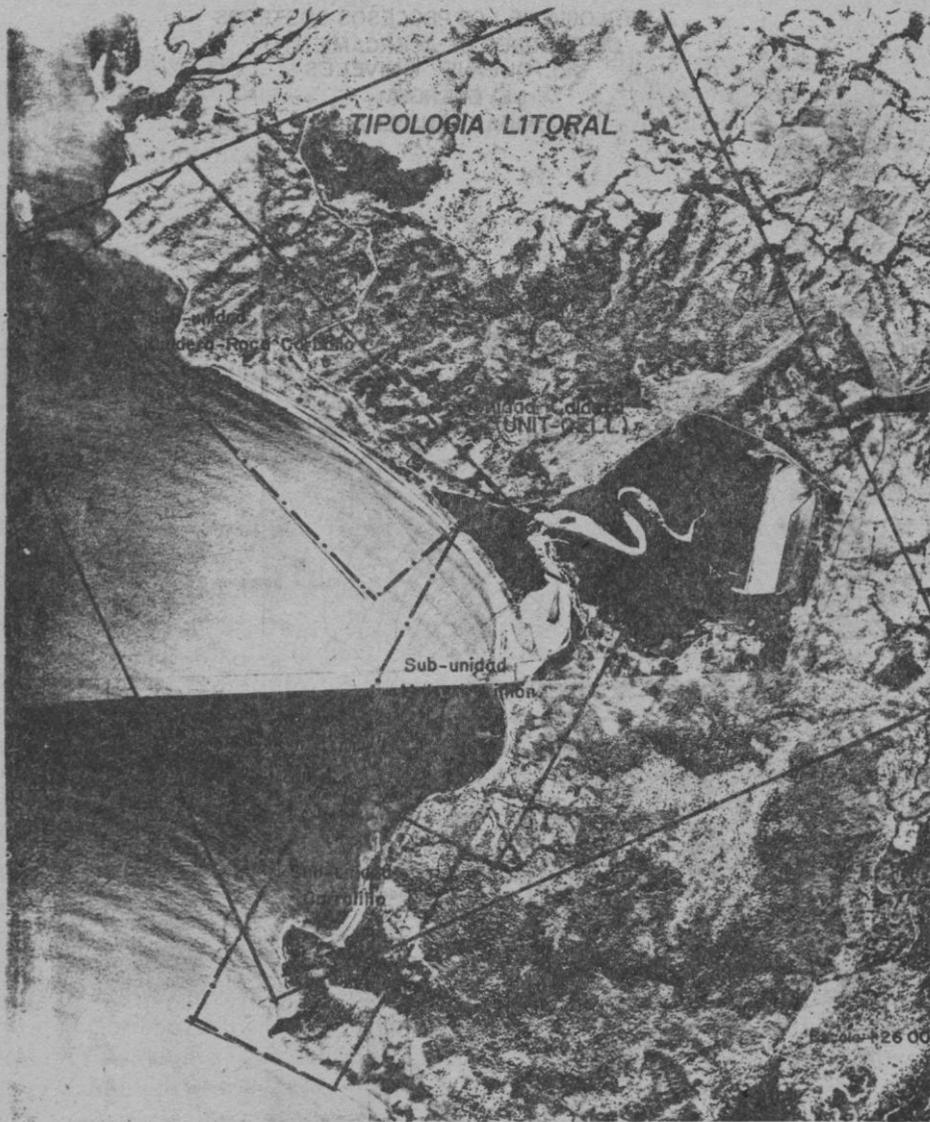
Se pretende con el análisis siguiente demostrar que los procesos costeros son interdependientes por cuanto se refiere a la influencia de las áreas continentales inmediatas y los procesos geológicos derivados de la acción marina.

Estos procesos, por cuanto se refiere a la morfología, interactúan dando como resultado unidades susceptibles de un análisis de conjunto que permita determinar la naturaleza de los procesos, su intensidad, duración y eventual permanencia o modificación en el tiempo.

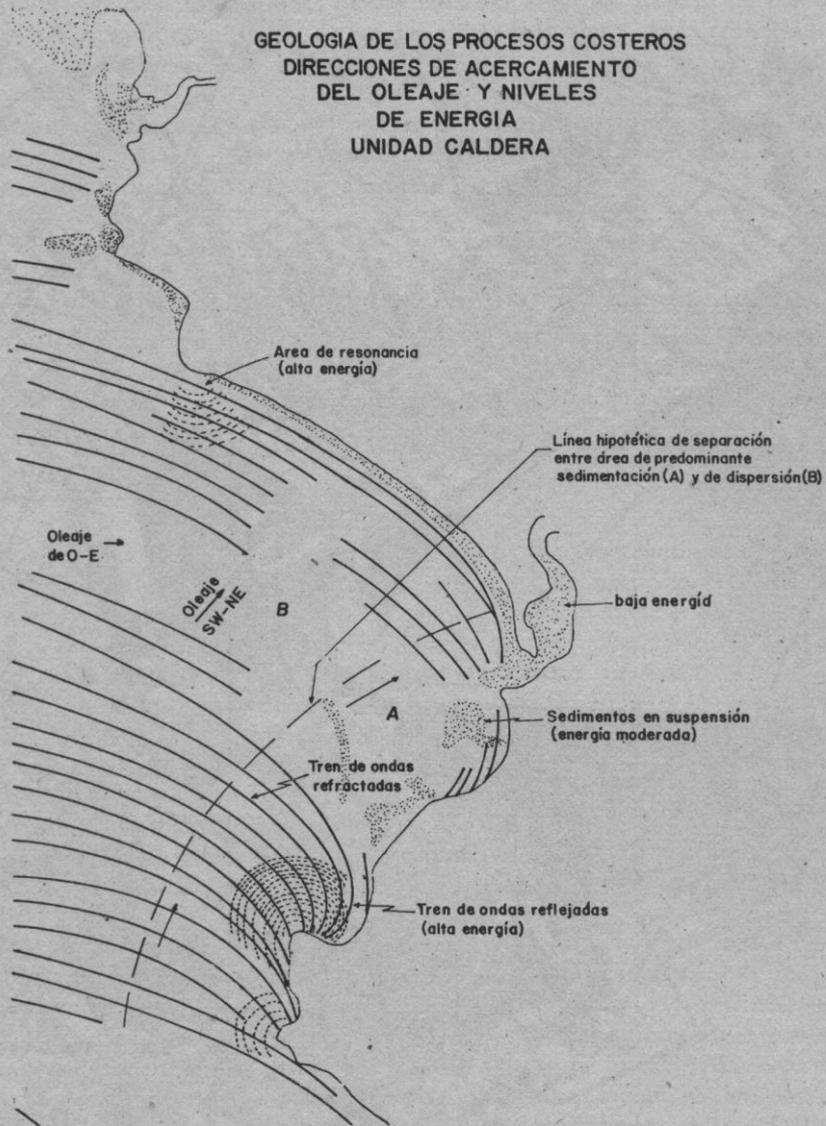
Por unidad de análisis se emplea el criterio de celda unitaria o compartimiento y es aquella zona litoral caracterizada por procesos de sedimentación y erosión circunscritos dentro de límites orográficos bien determinados. Es así que la unidad tipo está caracterizada por los siguientes elementos: generalmente comprendida entre dos promontorios rocosos, una zona de playa en medio y un cauce que aporta sedimentos continentales aunque éste sea solamente estacional. Además participa de la característica de mar abierto o litoral protegido, con formación de bahías (Harrowby, 1973).

Este es el caso de Caldera. Lo mismo se puede decir de las subunidades. De acuerdo con el tipo de exposición o la acción de oleaje se desarrollan a lo largo del litoral tanto promontorios rocosos como áreas de playa, cordones litorales u otras formas positivas de construcción. La deriva litoral determina a su vez áreas de arrastre erosión o deposición según la morfología costera.

En el área que se analiza todos los elementos están presentes, con mayor o menor desarrollo, dependiendo de la estructura geológica, de la exposición al oleaje y de la naturaleza de la deriva litoral, así mismo de los aportes continentales.



GEOLOGIA DE LOS PROCESOS COSTEROS
DIRECCIONES DE ACERCAMIENTO
DEL OLAJE Y NIVELES
DE ENERGIA
UNIDAD CALDERA



El área de la unidad compartimental principal tiene un área de 42 km². de los cuales 11,75 son marinos. La longitud litoral es de 9 km., de éstos el 65 % está cubierto por playas arenosas y un 35 % por promontorios rocosos y acantilados activos. Esta unidad está orientada de NW a SE y comprende, la parte continental, las áreas de drenaje que determinan la escorrentía los aportes continentales y la sedimentación litoral.

El litoral de la unidad es de tipo protegido, y sólo expuesto a dos direcciones principales: de este a oeste, de SW a NE. De estas dos posibles direcciones del oleaje, las más significativas son la W-E y la SW-NE. Las principales formas de modelado de litoral han sido causadas por el oleaje apuntado. Lo anterior se ha visto favorecido por la orientación de las estructuras geológicas costeras que en la zona tienen precisamente la misma orientación. En las fotografías aéreas de 1965-1974 se notan los trenes de onda del SW-NE. El oleaje W-E del Pacífico se advierte sólo en ocasión de fases ciclónicas y podría presentar características particulares de remoción de sedimentos en el litoral y plataforma submarina. El oleaje NW-SE no parece ser de mayor importancia ya que la península de Nicoya absorbe esta energía y la dispersa a lo largo de su costa oriental.

Subunidad Caldera-Roca Carballo

Se extiende desde punta Farallón hasta Mata de Limón. En la sección Norte predominan los promontorios rocosos sin desarrollo de playas. Los acantilados son prácticamente verticales. La plataforma de abrasión (Estrán) tiene una extensión limitada y su altura es de 3 m. En la sección Sur, entre Roca Carballo y Mata de Limón la playa está en desarrollo incipiente, presentando una pendiente de 10-30 %. La arena es polimodal, rica en magnetita, color café claro con poca fracción de carbonato de calcio. En fotografías aéreas de 1974 se observa una área de sedimentación (banco de arenas) sujeto a remoción por turbulencia.

En la sección Norte hay evidencias de transporte de sedimentos por la deriva litoral. Estos parecen ser tomados de playa Caldera y desplazados hacia el NW por acción combinada del oleaje y la deriva ya mencionada. La sección Norte se tipifica como muy activa. La sección Sur está sujeta a erosión. Después de playa Caldera la morfología es abrupta, no hay cauces ni aportes de sedimentos.

Subunidad Mata de Limón

Su orientación es SW-NE y comprende la boca del estero, puerto Caldera y el área frontal del manglar. Esta subunidad ha sufrido cambios recientes muy significativos sobre todo en lo que concierne a la construcción litoral (flecha) de la boca del estero. Esto sugiere que los aportes continentales del cauce principal son importantes. Llama la atención, sin embargo, que el tamaño de la cuenca (mapa 10) y el régimen hidroclimatológico no son de la magnitud para producir el crecimiento observado de la flecha del estero ya que el área de drenaje y la escorrentía son bajas. El estero debe haberse formado cuando el río Jesús María escurría a lo largo del paso Cambalache; de ahí sus dimensiones. Se

avanza la idea de que las aguas del estero sean de origen subterráneo, infiltradas en zonas de recarga de áreas más elevadas hacia el este. Estas por percolación en grande, a lo largo de fallas y de la estratificación de la unidad Carballo, alcanzarían la superficie en la zona del estero. Mediciones de caudales y composición química de las aguas podrían aclarar el asunto. Lo cierto es que la escorrentía superficial no es lo suficientemente elevada para producir el transporte de sedimentos observado en la boca del estero.

En puerto Caldera, en la sección Sur de la subunidad, en todas las tomas aéreas observadas, hay evidencias de sedimentación y turbulencia. Hay además desplazamiento de sedimentos por deriva, provenientes de playa Corralillo y Tivives.

Subunidad-Corralillo

Se orienta al igual que la subunidad Mata de Limón de SW a NE. Comprende el promontorio y la playa Corralillo. Esta subunidad es importante en la vida de puerto Caldera ya que el área de drenaje y el aporte de sedimentos es elevada. Se ha llegado a esta conclusión a través del análisis de la cuenca homónima.

El área de playa muestra un desarrollo de dientes de sierra (Beach-Cusps), lo que indica exposición al oleaje y la existencia de canales de resaca. La deriva de sedimentos hacia puerto Caldera es evidente en las fotos estudiadas. Es posible sin embargo, que parte del material provenga del estero de Tivives.

En el promontorio de Corralillo se produce refracción y reflexión del oleaje por lo que constituye un área de alta energía, peligroso para la navegación litoral.

Del análisis realizado se concluye que la sección norte de la subunidad Carballo está caracterizada por alta energía disipada por impacto contra promontorios rocosos. La subunidad Mata de Limón presenta sedimentación en su sección norte y media (boca del estero) y la sección sur del puerto se caracteriza por sedimentación proveniente de playa Corralillo, y turbulencia por efecto de la refracción del oleaje, que pone en movimiento los sedimentos, con su posterior deposición en la sección de la boca del estero. De lo anterior se desprende que la residencia de los sedimentos en puerto Caldera es temporal: oleaje y deriva litoral, los desplazan hacia la porción norte de la subunidad Mata de Limón.

4.4.4 Topografía submarina

El mar somero de bahía Caldera oscila entre 9 y 15 metros: las profundidades del litoral en punta Corralillo y la playa homónima son de 6,75 y 5,25 m. a 600 m. de la costa de puerto Caldera la profundidad es de 10 m. En la boca del estero Mata de Limón la profundidad es de 2,5 m. En playa Caldera la profundidad es de 7 m.

Profundidades de 10 hasta 15 m. se localizan en una amplia zona fondal

de 3,6 km. de extensión, que representa probablemente un bloque hundido, paralelo al horst de la Moncha. Este estaría delimitado por las fallas paralelas de Barranca y de Salinas.

Los rasgos de la topografía submarina así parecen confirmarlo: la falla de Barranca define en la plataforma el escarpe de los 15 m. y la falla de Salinas el de los 22,5 m.

Se destaca finalmente el rasgo estructural que atraviesa el Golfo de NW a SE en forma de canal. Su profundidad es de 24 m. Es posible que esta alineación esté relacionada con la zona de subducción terciaria de la costa pacífica de Costa Rica.

4.5 Geomorfología

El área de estudio comprende una faja litoral de 9 km. de extensión y un ancho promedio de 7 km. Esta presenta unidades geomorfológicas que se extienden desde el plano basal hasta las costas de 100 y 200 m. La topografía de mayor extensión se caracteriza por ser de cerril a escarpada. En la lámina 2 se muestra la distribución areal de las unidades, tomando en consideración topografía y pendientes (ver mapa 8).

a. *Unidad ignimbritas de Orotina*

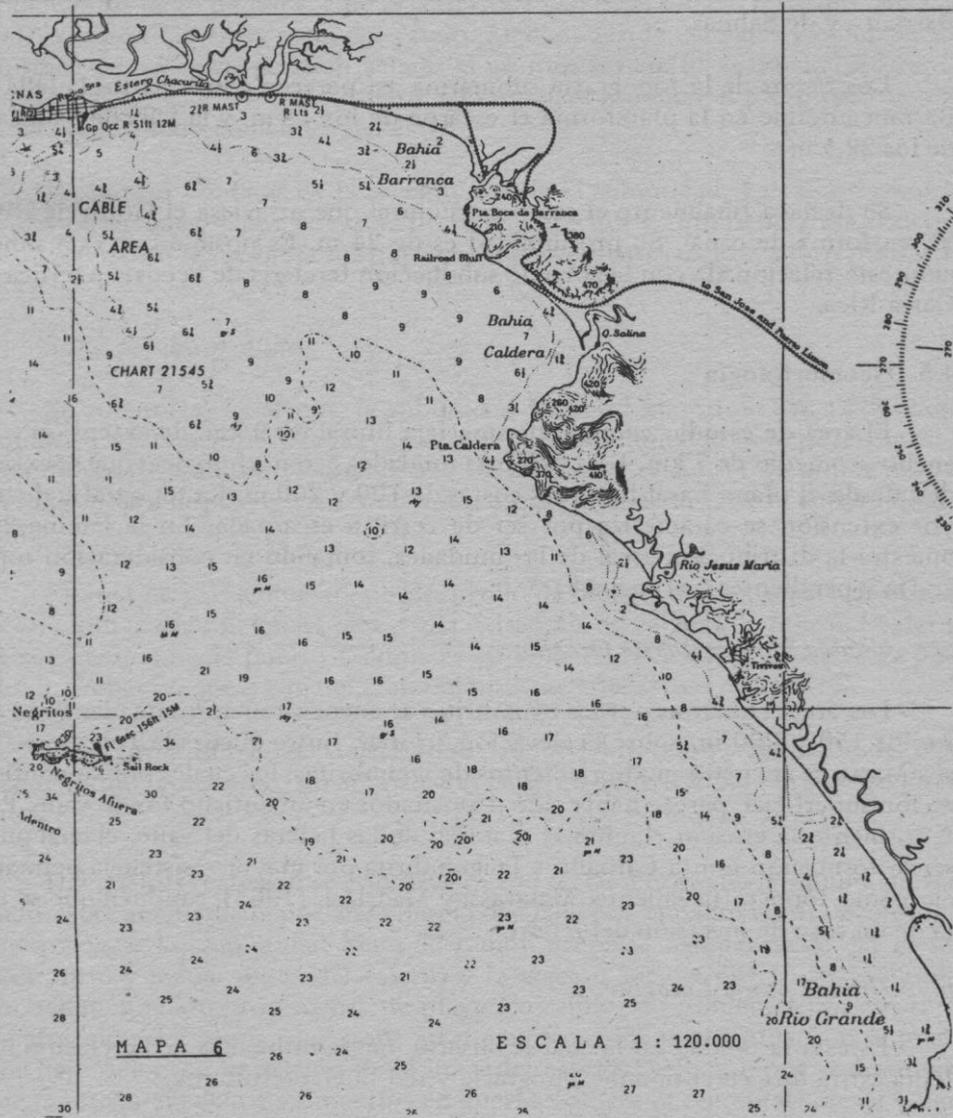
Las áreas cubiertas por las ignimbritas se encuentran aproximadamente entre los 150 y 200 m. sobre la elevación del mar. Entre quebrada Tejar y río Jesús María se encuentran afloramientos de ignimbritas, los cuales por su configuración superficial, parece haber sido depositados en un antiguo fondo valle. Posteriormente la erosión eliminó el material de las laderas del valle, el cual pudo ser la formación punta Carballo y la ignimbrita por mayor resistencia permaneció como topografía saliente. Malavassi y Madrigal, (1963), suponen que se trata de un caso de inversión del relieve.

b. *Unidad punta Carballo*

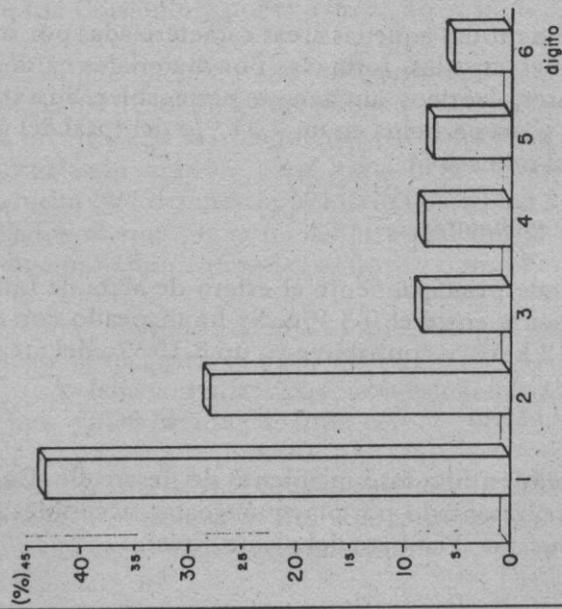
Es esta la unidad en la cual se observa más la influencia de la relación litología-estructura en el tipo de topografía y red fluvial resultante.

Para esta unidad, Dengo (1962) da las siguientes características fisiográficas "*Estado de madurez avanzado y de principios de senectud. Drenaje ajustado a la estructura y los ríos principales son paralelos al rumbo de la estratificación, separados por colinas alargadas en dirección dominante NW-SE. Muchos de los valles son anchos y planos.*" Las características observadas por el autor son: Superficie plana ondulada, de amplias divisorias en su mayor parte; se encuentran restos al norte y noroeste de Esparza. Donde la erosión ha progresado mucho las divisorias son redondeadas. Las márgenes de las divisorias son redondeadas, convexas y las cortas laderas que se forman pasan rápidamente de convexas a cóncavas indicando que el material se erosiona con más rapidez de lo que progresa la intemperización química.

TÓPOGRAFIA
PLATAFORMA SUBMARINA



UNIDAD CALDERA: Distribución porcentual de las unidades geomorfológicas



UNIDAD CALDERA: Distribución areal y porcentual de las unidades geomorfológicas

UNIDAD	DIGITO	PORCENTAJE (%)		TOTAL AREA (km ²)		TOTAL PENDIENTE (%)		TOPOGRAFIA
		TAJE (%)	ACUM.	ACUM.	ACUM.	ACUM.	ACUM.	
Valle en V	1	43.12	43.12	18.11	18.11	16	16	cerril a es-carpado
Mar somero	2	27.93	71.05	11.75	29.84	0	0	plano
Mesas	3	8.20	79.25	3.45	33.29	0	0	plano
Manglares	4	8.15	87.40	3.42	36.71	0	0	plano
Coluviales	5	7.31	94.71	3.07	39.78	3	3	plano-ondulado
Aluviales	6	5.29	100.00	2.22	42.00	0	0	plano

c. *Relación depositación y erosión de los materiales*

Dentro de los materiales encontramos en el área, las ignimbritas de Orotinga nos dan magníficas informaciones del período de erosión. En el Alto de las Mesas, a unos 120 m. de elevación encontramos una delgada capa de ignimbrita, aproximadamente de unos 2 m. de espesor, la cual está separada del resto de la unidad por el amplio valle del río Jesús María. Esto nos indica lógicamente que la excavación del valle Jesús María se inició después de la depositación de la ignimbrita.

Si la unidad litológica de la ignimbrita se asigna al período plioleistoceno tenemos que los fenómenos erosivos actuantes en el área son relativamente recientes (Madrigal, 1967).

d. *Áreas aluviales*

Comprenden todas aquellas áreas planas de formación reciente, cuya pendiente oscila entre 0-3 ‰.

El escurrimiento es lento y la percolación de buena a moderada. Se ha mapeado con el número 6 y su extensión en el área es del orden de los 2,22 km², o sea compone un 5,29 ‰ del total del área.

e. *Áreas coluviales*

Comprende todas aquellas áreas caracterizadas por su cercanía a los acantilados o zonas escarpadas, formadas por materiales caídos, de bloques, generalmente angulares, caóticos sumamente permeables. Su extensión es del orden de los 3,07 km² o sea participa en un 7,31 ‰ del total del área. Se ha indicado en el mapa con el número 5.

f. *Áreas de manglares*

Comprende principalmente el estero de Mata de Limón con escurrimiento lento y pendiente entre el 0-3 ‰. Se ha mapeado con el número 4. Su extensión es de 3,42 km², y contribuye en un 8,15 ‰ del área total.

g. *Áreas de playas*

Son playas en una fase incipiente de desarrollo. De los 9 km. de litoral, el 65 ‰ está representado por playas angostas, accesibles en algunos casos, generalmente expuestas al embate del oleaje directo.

h. *Áreas de cerriles o escarpadas (Valles en V)*

Comprende las áreas quebradas cuyas pendientes oscilan entre el 16-30 ‰ con escurrimiento moderado y percolación baja. Se ha mapeado con el número 1. Su extensión en el área es del orden de los 43,12 km², o sea compone un 18,11 ‰ del total del área.

i. Area marítima

De los 42 km². que compone la unidad, con los límites propuestos, 11,75 km². son marítimos, representados por un 27,93 0/o. De esta área se da una descripción pormenorizada en la sección de topografía submarina.

4.5.1 Morfogénesis

4.5.1.1 Formas producto de la erosión

Entre las formas presentes en este sector que resultan de la acción de los agentes de la erosión tenemos:

Acantilados;
estrán;
cuevas; y
puntas rocosas.

Los acantilados

Se pueden distinguir dos áreas de acantilados, una activa o de acantilados vivos y la otra inactiva o bien de acantilados muertos. La primera se extiende desde roca Mesón hasta roca Carballo cubriendo aproximadamente 2 km. Solamente se interrumpe esta línea continua de acantilados activos en playa Pirata. Un segundo sector de acantilados activos se localiza donde se construye el puerto de Caldera, en punta Corralillo y punta Torres, abarcando 2,5 km.

Es en estos sectores donde encontramos los acantilados actualmente activos, se pudo apreciar los restos de los rieles del antiguo paso del ferrocarril eléctrico del Pacífico. Tuvo que trazarse la ruta que existe hoy porque el acantilado de roca Carballo fue avanzando muy de prisa hasta llegar a obstruir el paso completamente. Otra prueba que demuestra la intensa actividad a la que están sometidos estos acantilados es que no se puede atravesar por la costa aún en marea baja en el sector comprendido entre playa Pirata y punta Farallón.

La segunda área que corresponde a acantilados muertos se extiende detrás de playa Caldera. Se puede apreciar en el mapa geológico (Nº 3) que estas formas están separadas por una falla con una distancia considerable al cordón litoral o al nivel medio del mar o bien la curva de nivel cero.

Es característico de los acantilados activos la ausencia de cobertura vegetal debido a las rocciones que se producen en el litoral lo que trae como consecuencia la imposibilidad de desarrollo o aún de germinación.

Estos acantilados activos están en una fase inicial de desarrollo, pues se observa que conforme van retrocediendo se van originando socavamientos y grietas, al mismo tiempo que se va modelando el estrán.

Los fragmentos de rocas disgregados son arrastrados mar adentro debido a la energía de las olas.

Roca Carballo

El acantilado está muy activo. A medida que la acción de las olas azota este promontorio se producirá un talud en el mismo, entonces el acantilado va retrocediendo y se van originando socavamientos, arcos, grietas, etc., que en general corresponden a la zona de menor resistencia (zona de trituración, planos de fallas). La ola rompé y al saltar produce sus efectos con mayor intensidad en el techo del socavón o circa. Al profundizarse, éstos van a contribuir a la pérdida del equilibrio de los materiales que están en la cima para caer luego por gravedad en la base del acantilado. Nuevamente se va a repetir el ciclo pero con la diferencia de que ahora las olas van a tener mayor cantidad de materiales que pueden usar como proyectiles contra la pared para originar la circa.

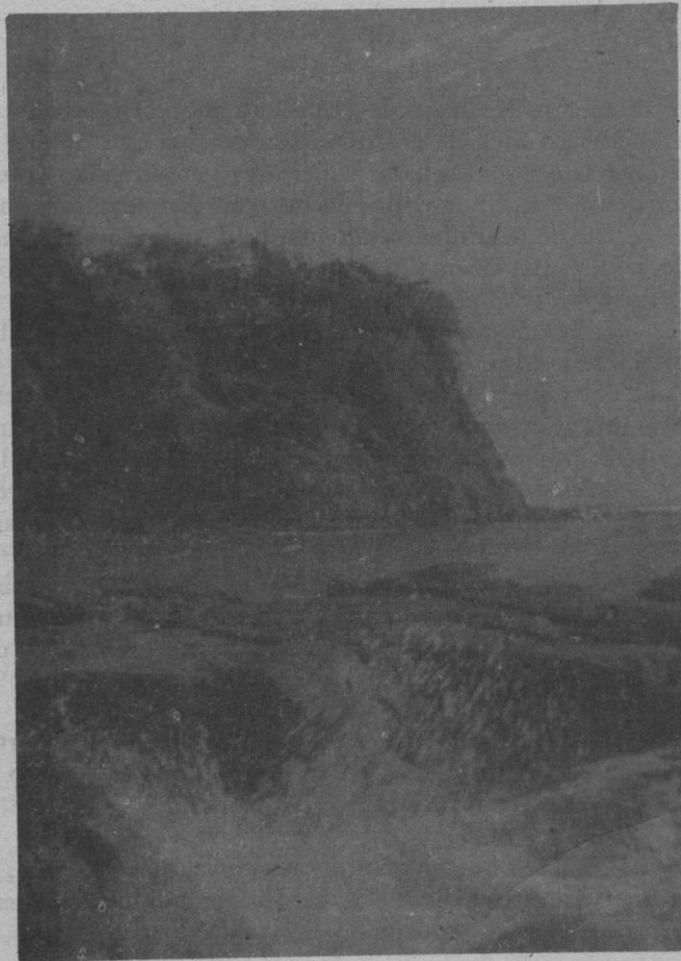


Foto 1. Sector este roca Mesón. Embate de las olas en bajamar.

El acantilado conforme retrocede hace que la altura de las vertientes puedan ser cada vez mayor. Como se puede observar, en roca Carballo varía constantemente, en cuanto a la pendiente que está siendo azotada, debido a que, una vez que se desplomen los materiales por pérdida del equilibrio el acantilado presentará una forma como de vertiente inactiva, pero cuando nuevamente se forma la cornisa se observará que presenta grandes bloques (protuberancias) salidas en la parte superior.

Una prueba de la actividad de este acantilado es la presencia de gran cantidad de materiales de diferentes tamaños en la base, lo que nos indica que constantemente se producen deslizamientos por lo cual el mar no ha tenido el suficiente tiempo como para devolverlos y arrastrarlos mar adentro.

Estrán

El estrán lo tenemos presente en todo el sector de los acantilados activos donde queda al descubierto en la bajamar, es el inicio de la plataforma de abrasión.

De acuerdo con el carácter de la marea y la configuración de la costa, pueden señalarse diferencias entre sectores en los cuales la erosión es muy diferenciada. Así tenemos sectores afines en cuanto a su erosión como son las vertientes oeste de los acantilados y las vertientes este de los mismos. Esta división se hace con base en el acercamiento del oleaje, teniendo de esta forma que en las laderas orientales la acción del oleaje es directa y muy intensa, quedando las vertientes oeste refugiadas lo que las hace tener menor energía (foto 1).

Debido a la dirección de la corriente de marea y materiales existentes, el estrán presenta sectores más erosionados. Así tenemos que en roca Mesón el estrán en la saliente mayor mide 65 m. de largo por 25 m. de ancho tanto en el extremo interior como exterior.

El ancho del estrán en el sector comprendido entre playa Doña Ana y roca Mesón mide 3 m. poco antes de la punta rocosa de roca Mesón, lugar donde es más restringido, pero en el centro de este sector el ancho es mayor siendo de 6 m. para nuevamente tener 3 m. en el extremo de playa Doña Ana.

El estrán en el sector comprendido entre roca Mesón y punta Farallón no es continuo, sino que está separado por canales de desgarre cuyo ancho oscila entre 1 y 10 m.

La forma que ha tomado aquí es de lenguas (salientes), siendo la mayor de 65 m. de largo y otras dos con 33 y 28 m. Estas lenguas están separadas por otras más pequeñas cuyas medidas son de 12 por 5 m. de ancho en el extremo interior y 4 en el extremo exterior, a su vez estas pequeñas lenguas se presentan divididas por canales de desgarre en los cuales el ancho del extremo interior oscila entre 1 y 4 m. y el extremo exterior entre 1 y 6 m. En el centro aproximadamente del sector comprendido entre roca Mesón y punta Farallón se encuentra una ensenada en la cual se localiza otra gran mesa de 25 m. de largo por 23

m. de ancho, separada por un canal de 2 m. de ancho de un sector intensamente degradado cuyo largo mide 14 por 12 m. en la orilla del canal.

Es importante anotar que estas mesas se alzan 3 m. sobre el lecho arenoso (altura de la bajamar) y que en los canales sólo se encuentran rodados de diferentes tamaños, los cuales son utilizados como proyectiles contra las cuevas y paredes de los acantilados. Continuando hacia punta Farallón, desaparecen las mesas para dar lugar a un sector donde se inicia la formación de una playa en la cual se encuentran también bloques. Este sector caótico (mezcla de arena y bloques) mide 20 m. de ancho en marea baja en el extremo exterior y 5 m. en el extremo interior. Este sector cuenta a su vez con la presencia de pequeños deslizamientos que contribuyen con aporte de materiales finos. La última gran lengua que se localiza mide 28 por 8 m. la cual se encuentra rodeada también por una mezcla de arena con bloques.

La vertiente oeste de punta Farallón se encuentra formada únicamente por bloques. El ancho de la misma en este sector es de 17-11-10 y 28 m., esta última unos pocos metros antes de punta Farallón. Esto corresponde al estrán pero no se pudo obtener el desnivel debido al peligro que presenta el área por el fuerte embate producto del oleaje.

Nivel de la bajamar y pleamar

En todo el sector comprendido entre playa Doña Ana y punta Farallón se observan dos desniveles que marcan respectivamente el nivel de la baja y alta marea; existiendo como promedio de desnivel 2 ó 3 m. entre ambas (lámina 31, foto 2):

Así tenemos en el caso de roca Mesón que el estrán marca el nivel de máxima marea. La huella de la marea máxima se nota con toda claridad cuando observamos la circa que se produce en la base del acantilado con una altura que oscila entre poco más de 3 y excepcionalmente de 10 m. y con profundidades entre 1 y 5 m.

Puntas rocosas

En el área de estudio se nos presentan cinco puntas rocosas o promontorios, que son: roca Mesón, punta Farallón, roca Carballo, punta Corralillo, punta Torres. Estas puntas desempeñan un papel primordial en la evolución de la costa, que va a depender de la extensión, exposición al oleaje, y elevación. Así tenemos, que punta Torres y Corralillo tienen mayor importancia sobre las otras puntas ya que la energía es mayor como consecuencia de la dirección del oleaje (ver mapa 5).

Punta Corralillo se presenta como un obstáculo a la dirección del oleaje (trenes de olas) por lo que éste sufre variaciones con la refracción y reflexión cuyo resultado es el de eliminar ese obstáculo o promontorio a la acción del oleaje.

Las puntas rocosas desempeñan función primordial en la caracterización del litoral, sobre todo por ser de litoral abierto, a excepción del sector de la boca del estero de Mata de Limón donde se forma la bahía Caldera que debe su origen a la geología estructural (mapa 2).

Rocas testigo

Se nos presentan en la margen derecha de la desembocadura del río Baranca. Consisten en restos rocosos de una formación aluvial antigua, su coloración es amarilla y se encuentra muy meteorizada y diaclasada. A estos restos rocosos se les conoce con el nombre de agujas. Se encuentran al descubierto durante la baja marea, presentando en la parte superior formas aplanadas.

Cuevas

En la sección de litoral comprendido entre roca Carballo y punta Farallón hay cuevas cuyo desarrollo ha sido favorecido por la litología, la estructura geológica y la energía del oleaje. Sus dimensiones están comprendidas entre 3 y 4 m. La habitación es de formas regulares en el piso y en el techo (foto 3).

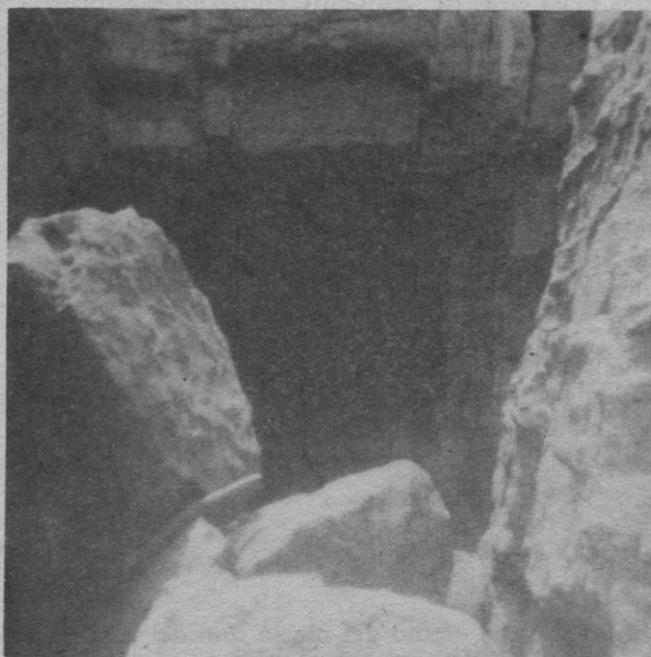


Foto 3. Cueva en punta Farallón.

4.5.1.2 Formas producto de la sedimentación

Según la acción que predomina en el trabajo del mar el resultado será un acantilado o playa (erosión o sedimentación). En este caso trataremos específicamente de las formas como producto de la sedimentación que según sean sus características nos van a dar:

- Costas con playas arenosas;
- costas con playas pedregosas;
- manglares;
- flechas; y
- cordones litorales.

Por definición, se puede decir que la "playa" es una "acumulación", en el borde del mar, de materiales más gruesos que los principales constituyentes del limo, (Derruau, 1970) aunque ciertas playas se convierten en barrizales en la zona de baja mar.

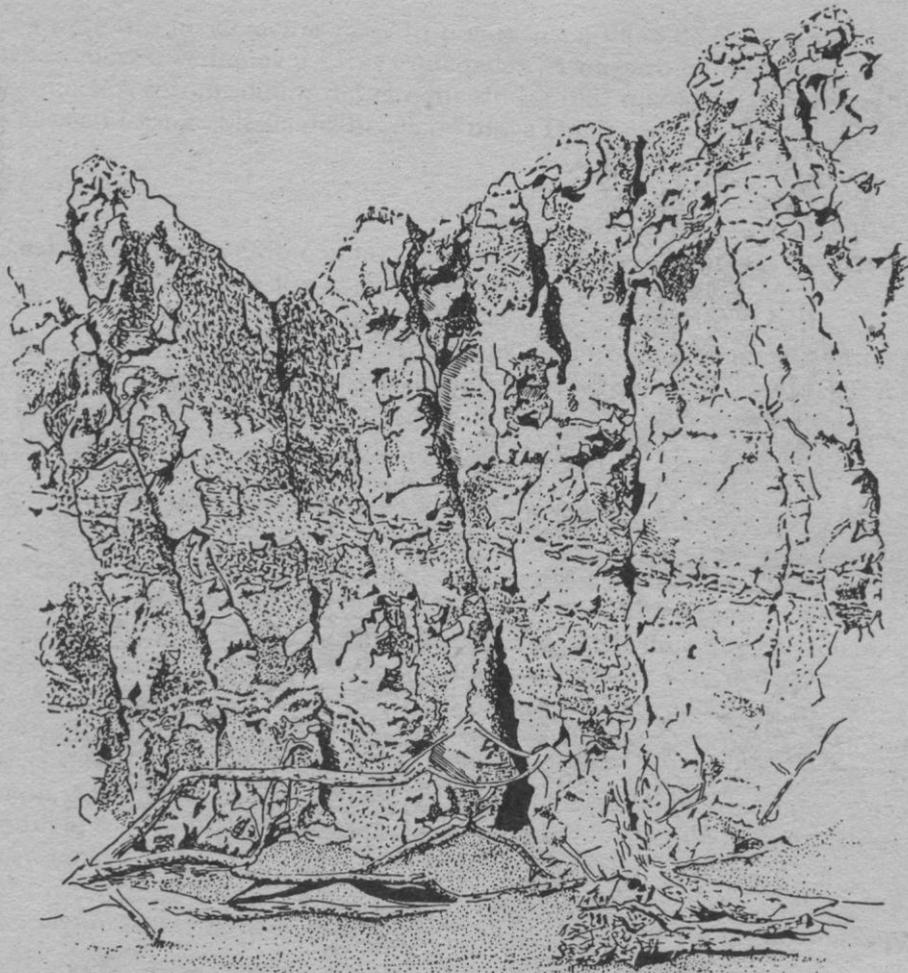
Los materiales finos (las arenas) casi no provienen del desmenuzamiento, por acción del mar de los materiales gruesos, sino que el mar los recibe ya sea provenientes de depósitos fluviales o de rocas previamente arenizadas. La acción del mar (las olas) consiste realmente en darles esa forma a las arenas y no el de desmenuzarlas. Les confiere rápidamente a las arenas un aspecto de desgaste reluciente. La escogencia en cuanto al tamaño (dimensiones) de las arenas no se hace al azar, aunque existe mucha mezcla, por lo general las arenas más gruesas se colocan en la parte más elevada del cordón litoral, ya que son arrojados por las tempestades o con las mareas más altas.

Una característica es que en las regiones arenizadas como ocurre en playa Caldera y Doña Ana los cantos son escasos o no existen del todo y la playa puede estar constituida totalmente por arenas.

La distribución de las arenas es esencialmente inestable, debido a que el mar opera con elementos móviles. Tanto las tempestades como las máximas mareas erosionan acumulaciones de las arenas, depositan cantos, troncos de árboles, en fin todo lo que contenga en ese momento el mar (lámina 5, playa Pirata).

Playón sin nombre

Esta playa no sufre el efecto del oleaje sino del aumento del nivel de las aguas del río en alta mar, esto se deduce de la existencia de vertientes en biostasia hasta el nivel mismo de la pleamar y además que está al abrigo de la cabeza de playa de Doña Ana.



Lamina N: 4
Cabeza de Playa entre
Doña Ana y Boca Barranca



Lamina N° 5
Playa Pirata : cordón litoral pedregoso

Estas rocas aisladas que lo separan de playa Doña Ana, miden 60 m. de largo y su máxima altura es de 18 m., teniendo en el extremo exterior 15 m. y luego desciende gradualmente hasta llegar al nivel de la playa (lámina 4).

Se presenta fuertemente rasgado por gran cantidad de hendiduras, grietas, pequeñas cuevas, ventanas y otras oquedades. A nuestro entender estas formas de destrucción son producto del choque de las olas que además parecen llegar hasta ellas en forma oblicua del borde de playa Doña Ana.

Playa Doña Ana

Se localiza de acuerdo con las coordenadas geodésicas planas 215/214 N/S y 455/456 W/E. Su extensión es de 3,3 Has.

Esta playa es una rinconada, el largo es de aproximadamente 285 m. y el ancho es cada vez mayor partiendo del conjunto de rocas aisladas o cabezas de playa obteniéndose 140, 165, y aún 200 m. en marea baja de 0,6 m. del 24 de junio de 1978.

A través de todo el ancho de la playa encontramos que a 6 m. del nivel medio del mar comienza ya la vegetación sobre todo en la margen izquierda, por ser el lado que queda refugiado de la embestida de las olas. Posteriormente se localiza el cordón litoral antiguo, el cual presenta una suave pendiente para luego encontrarnos al fondo de la rinconada con una laguna que es drenada por medio de un canal de desagüe por el costado izquierdo; esto ocurre solamente cuando la laguna sufre un aumento en su volumen. Tiene un ancho aproximado de 20-30 m. con 85-100 m. de largo (medidas estimadas). Existe la posibilidad de que el manglar de estero Mero que se encuentra al lado atrás de ella, le abastezca con gran porcentaje de agua, pero que este abastecimiento ocurra por vía subterránea; a la vez tiene el aporte de aguas de arroyada que le suministran las laderas vecinas.

En algunas ocasiones se puede observar la formación de ripple marks producto del oleaje.

Playa Pirata

Esta playa se localiza entre roca Carballo y punta Farallón. La vertiente que queda al lado de roca Carballo era el lugar por donde pasaba el ferrocarril pero hoy sólo se encuentran sus huellas como son el pequeño aterrazamiento hecho para permitir el paso, el túnel que se localiza al fondo del valle, los rieles abandonados, etc. Esta playa debe su origen sobre todo a la presencia de una falla en sentido transversal a la costa, pues la misma ha producido una zona inestable la cual ha sido fácilmente erosionada por la incidencia de las olas. En cuanto a la forma que se observa en las fotografías aéreas se puede decir que es una "U" ya que están a su alrededor altos acantilados que ayudan a reconocerla como tal.

Es una playa mixta que ya está constituida por cantos rodados y arenas de

color gris; esta división entre los rodados en el cordón litoral y arenas de la playa se observa muy bien en las fotografías aéreas, incluso sin usar esteroscopio.

La quebrada no posee canal de desagüe al mar y a esto se debe que en la parte de atrás del cordón exista una pequeña formación de yolillal. En la lámina N° 5 se observan dos pequeños escurrideros pero no es otra cosa más que el agua que logra escurrirse y por gravedad busca salida hacia la costa.

Playa Caldera

Es la playa de mayor extensión, siendo ésta de 17,5 Has. con una longitud de 3,5 km. Se ubica entre las coordenadas geodésicas 213/212 N/S y 457/458 W/E.

Esta playa se extiende desde roca Carballo hasta el sector rocoso adyacente a playa Corralillo, pero en vista de que el estero de Mata de Limón rompe su arco de equilibrio, se ha procedido a dividirla en dos sectores analizando sus características en forma individual.

El sector comprendido entre boca del estero y roca Carballo nos demuestra la formación de una playa en la cual tenemos la influencia de la refracción por lo que la línea de ribera va a tender a tener la forma (o dirección) con que el oleaje llega al sector. Así tenemos que las olas llegan a tocar fondo primero en el sector de la boca y posteriormente lo hacen en dirección a roca Carballo. Por lo tanto, se nos presenta aquí a pocos metros antes de la boca un sector más desgastado por la curvatura que produce la refracción. Lógicamente roca Carballo juega un papel primordial en cuanto a la morfología que presenta esta área, porque de lo contrario la línea de ribera estaría atrás.

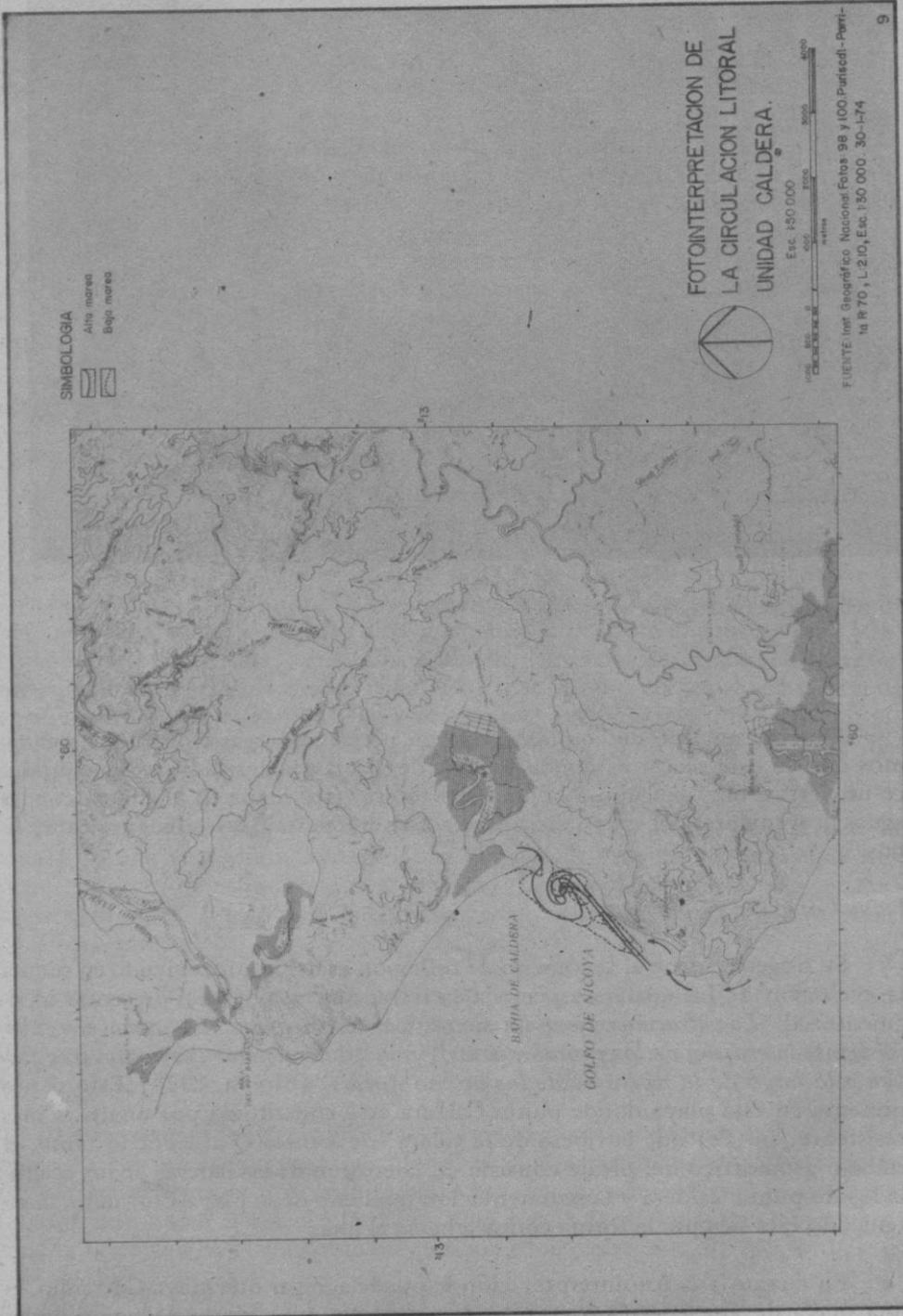
El oleaje es muy fuerte lo que nos demuestra que todavía no existe un perfil de playa bien equilibrado, al presentárenos gradientes en la zona intertidal bastante elevado.

Playa Puerto Caldera

Esta playa es la continuación de la playa Caldera y simplemente constituye el trazo más corto de donde se produce la ruptura de equilibrio. Al producirse este desequilibrio le confiere características propias que a continuación se expone.

Participa aquí el fenómeno de refracción, dando lugar como consecuencia a la formación de una serie de líneas de rompientes en forma paralela a la línea de ribera, (mapa 5).

Es muy propio de este sector la formación de una pluma (sedimento en suspensión, ver mapa 9) que presenta su ciclo de desarrollo bien definido y que viene a constituir la principal fuente de información para el análisis de la morfología de esta playa.



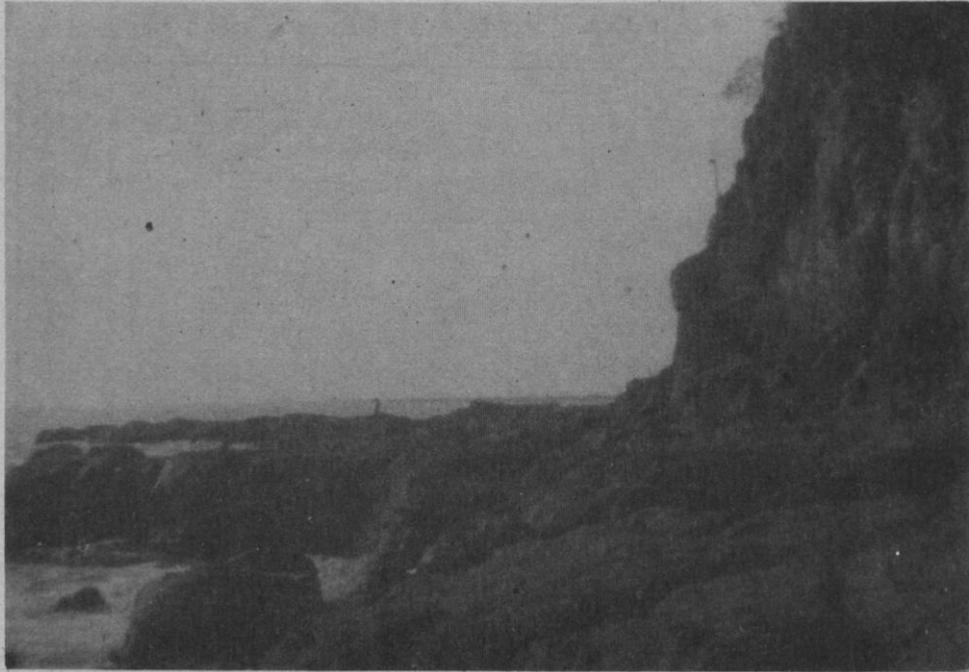


Foto 5. Niveles de bajamar y pleamar: roca Mesón.

Presenta un arco de equilibrio con un pequeño desgaste de lo que deducimos que en este sector es donde sufre la desviación la deriva litoral que produce un vértice muy cercano a la boca del estero, (ver mapa 5) al chocar con las aguas provenientes del estero cargadas en gran porcentaje de sedimentos muy finos.

Playa Corralillo

Su origen se debe al fenómeno de reflexión es decir que teniendo en cuenta la evolución de las costas respecto a la refracción se nos va a presentar lo siguiente: a) *“La refracción tiende a simplificar la línea de costa inicial irregular mediante la erosión de los promontorios”* y b) *“el de generar corrientes que fluyen a lo largo de la ribera desde los promontorios”* (Bloom, 1974). Esto se nos presenta en esta playa donde punta Caldera está constituida por una roca más resistente (fm Pc) que la ribera de la caleta adyacente (Q al). Por lo tanto, el trabajo geomórfico del oleaje consiste en la erosión de las laderas de los acantilados de punta Caldera y la sedimentación o relleno de la playa Corralillo, manteniendo ésta siempre la forma cóncava hacia el mar.

En cuanto a la fotointerpretación se puede agregar que playa Corralillo, es una playa de alta energía, presentando un oleaje muy fuerte deducido de las formas características presentes en la playa como son la formación de los dien-

tes de sierra, (deriva de playa). La construcción de estos dientes de sierra nos lleva a realizar dos estimaciones: a) es una playa de reciente formación y b) posee una fuerte pendiente.

Cordones litorales

Estos son evidencias de relieves positivos, que dependiendo de la evolución de la costa en ese sector presentan uno o más cordones litorales. Observando las características de playa Doña Ana y teniendo presente que el litoral pacífico está sufriendo un levantamiento, se deduce la formación de un nuevo cordón litoral en esta playa. Como evidencias tenemos que el antiguo cordón se encuentra a 50 m. distante del nuevo y además, cuando se produce la máxima marea, se marca en el nuevo cordón un desnivel en forma vertical de aproximadamente 0,30 m. Otro criterio, para considerar la formación de un nuevo cordón litoral es la formación de suelo (capa orgánica) en el sector donde están las construcciones del Instituto Costarricense de Turismo (ICT) y además una vegetación pionera que llega hasta el desnivel antes anotado. Se puede observar con toda claridad la estratificación en la arena porque alternan capas de arena de color gris con capas de materia orgánica de color negro.

Pláya Caldera presenta un cordón litoral bastante alto y de forma ondulada lo que nos pone en evidencia las áreas de resaca. Existen enormes bancos de arena (naturales) tanto en el cordón como en la línea de baja marea que el hombre aprovecha con el agravante de que cuando se produce una marea muy alta, parte de las olas de ésta, rebasan este límite, causando inundación en el sector inmediatamente atrás de este cordón. Ocurre lo mismo en la zona de contacto entre roca Carballo y playa Caldera por encontrarse aquí el cordón a menor altura que en los otros sitios, produciéndose las inundaciones para que posteriormente esta agua se filtre y aflore por gravedad en la playa.

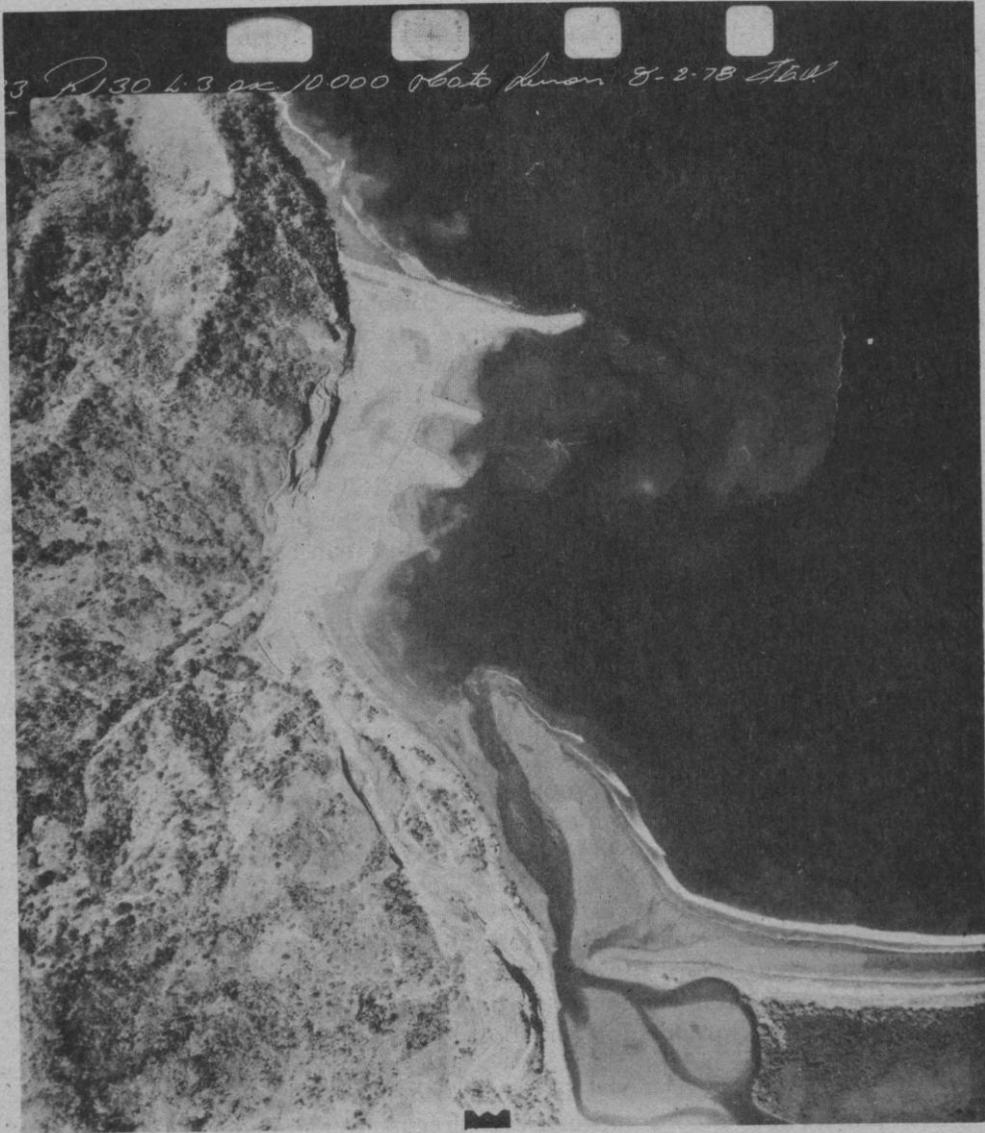
Tenemos la presencia en el cordón mismo (si el hombre no ha extraído la arena) de una vegetación sobre todo de la especie rastrera de playas que nos permite hacer una estimación en el sentido de que la playa avanza cada vez más hacia el mar y esto lo podemos corroborar con la presencia de bancos de arena en la zona intertidal.

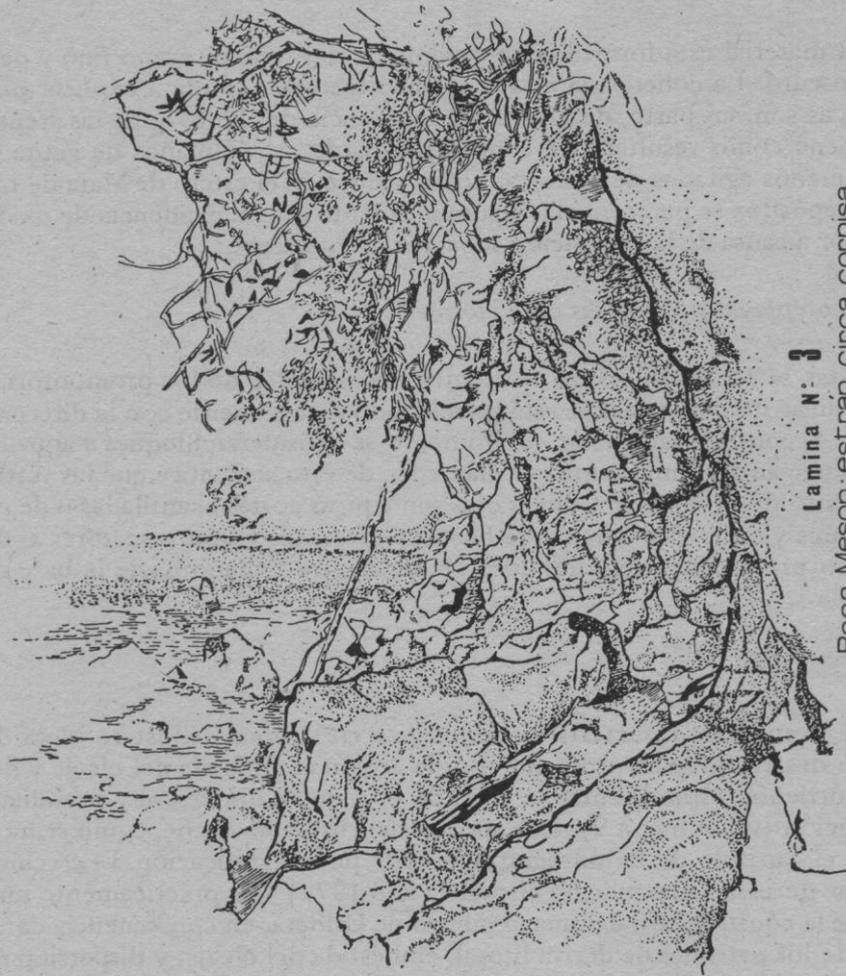
En playa Pirata el cordón litoral es pedregoso (ver lámina N° 5) y forma una presa a las aguas de arroyadas de esta área ya que son canalizadas a través de una pequeña quebrada intermitente (su trazado no aparece en hoja topográfica).

La presencia de este cordón litoral pedregoso nos demuestra que es una playa ya con un oleaje bastante fuerte, el cual arrastra rodados desde punta Carballo y a la vez no permite que los rodados provenientes de la quebrada intermitente pasen hasta el mar, formando por lo tanto en forma cóncava en toda la extensión de playa Pirata un cordón litoral pedregoso.

Estuarios

En la zona del estudio se presenta únicamente un accidente que se puede





Lamina N.º 3

Roca Mesón; estrán, circa cornisa
niveles de bajamar y de pleamar. —

calificar como estuario. Normalmente se acepta como estuario un cuerpo costero de agua, semicerrado el cual tiene una conexión libre con el mar abierto (Camerón and Pritchard, 1963). Este se encuentra protegido de la acción de las olas y puede ser según su génesis una llanura de marea.

El material está formado principalmente por lodo de grano fino y de color gris a oscuro. La coherencia de los sedimentos finos ayuda a explicar por qué las playas son, en parte, de arena. La coherencia del fango y de las arenas más finas tiene como resultado la concentración de esos tamaños de grano en las partes menos agitadas de la costa, como ocurre en el estero de Mata de Limón. Estos depósitos se parecen a las lagunas, excepto que la incidencia de oxidación es mayor a causa de la exposición subaérea intermitente.

Costas con playas pedregosas o de bloques

Estas se localizan en las vertientes occidentales de los promontorios, ya que su lugar de depositación está relacionado directamente con la dirección de las olas. Según la clasificación de Bourcart, se consideran bloques a aquellas rocas que tengan 500 mm. o más de diámetro, de esto se deduce que las vertientes a sotavento de la dirección de las olas son típicas costas acantiladas o de playas de bloques ya que el diámetro de bloques presentes en estos sectores es de 1,5 m. como promedio, encontrándose las de menor tamaño hacia la base de los acantilados.

Flecha

La forma más característica se localiza en la boca del estero Mata de Limón; su desarrollo se ha producido por la acción combinada del oleaje y de una contracorriente (espiral) entre la zona de prevalente dispersión y prevalente sedimentación (véase mapa 9). Los aportes del río Cambalache, como se ha señalado en el capítulo de la hidrografía, son de poca significación. El crecimiento histórico de esta construcción litoral (1958-1974) fue prácticamente nula. A partir de la construcción del nuevo puerto de Caldera, en consecuencia con alteración de los patrones de deriva litoral, embestida del oleaje, y dispersión de los sedimentos, la flecha ha alcanzado proporciones considerables con tendencias a azolvar la bahía (véase fotografía aérea N° 12.323 del 8-2-78 IGN).

4.5.2 Hidrografía

La mayor parte del área de estudio se encuentra drenada por el río Barranca. Debido a que el área se encuentra dentro del Pacífico norte o seco, las precipitaciones son muy bajas, lo cual contribuye a la formación de quebradas intermitentes que son: la Moncha y Barbudal. Estas dos se encuentran dentro del bloque que se ubica a la izquierda de la falla de desgarre. La quebrada de la Moncha recoge las aguas precipitadas en el horst homónimo, la quebrada Barbudal recoge las aguas del sur del horst de Artieda, uniéndose ambas en el estero Mero. El escurrimiento en el horst de la Moncha se puede calificar como concentrado, mientras que en el de Artieda moderado.

SIMBOLOGIA

- Caudes principales
- - - Quebradas intermitentes
- Límite de cuenca

ANÁLISIS HIDROGRÁFICO

Cuenca	Estero Mero	Mata Limón	Corralito	Pta. Caldera
Digito	1	2	3	4
Área Km ²	12.46	885	51.5	225
Long. canal princ. Km	8.50	4.40	35.0	13.0
Long. total cauce Km	15.55	9.50	76.0	13.0
D	1.25	1.07	1.47	0.58
lc	55.55	89.47	66.66	85.00
Rf	1.47	2.01	1.47	1.73
Lo	0.625	0.535	0.73	0.29
Pend.	3.30	1.62	3.45	1.50

D = densidad de drenaje $D = \Sigma l/A$
 lc = índice de cuenca $lc = l \times 100/L$
 Rf = índice forma de cuenca $Rf = A/L^2$
 Lo = longitud de flujo de superficie $Lo = l/2D$
 P = pendiente en % $P = h \times 100/L$



**HIDROGRAFIA
UNIDAD CALDERA**

Esc. 1:50 000
 0 500 1000 2000 3000 metros

FUENTE: I.G.N.

En el horst del Alto de las Mesas se nos presenta una topografía plana en la cima y en sus alrededores muy escarpado, lo que da origen a varias quebradas con valles profundos que posteriormente se unen para desembocar en el estero Corralillo. Es interesante mencionar que la formación Carballo en su mayor parte presenta un escurrimiento concentrado debido probablemente a su naturaleza carbonática (véase mapa 8).

En cuanto a la dirección o rumbo de los ríos, se puede generalizar que los cauces están controlados en general por la estructura geológica (mapa 2), determinando en gran parte del área un escurrimiento concentrado.

Del análisis hidrográfico se obtiene que la cuenca Corralillo es la más densa del área, siendo ésta de menor tamaño que la de Mata de Limón y Estero Mero. Sin embargo, lo común en las cuencas es poseer solamente quebradas intermitentes, lo que le resta madurez a la red de avenamiento, tal como es el caso de la cuenca de Corralillo, donde si existe una ramificación bien definida y no es controlada por la estructura geológica. La cuenca de Corralillo posee la mayor densidad de drenaje, así como la mayor longitud de superficie, o sea 0,73 contra 0,62 de estero Mero y 0,53 de Mata de Limón.

De acuerdo con la morfología y la estructura geológica actual, es posible deducir que el estero de Mata de Limón fue formado por un cauce de considerable tamaño que antiguamente desembocaba en esta zona (perfil D-D').

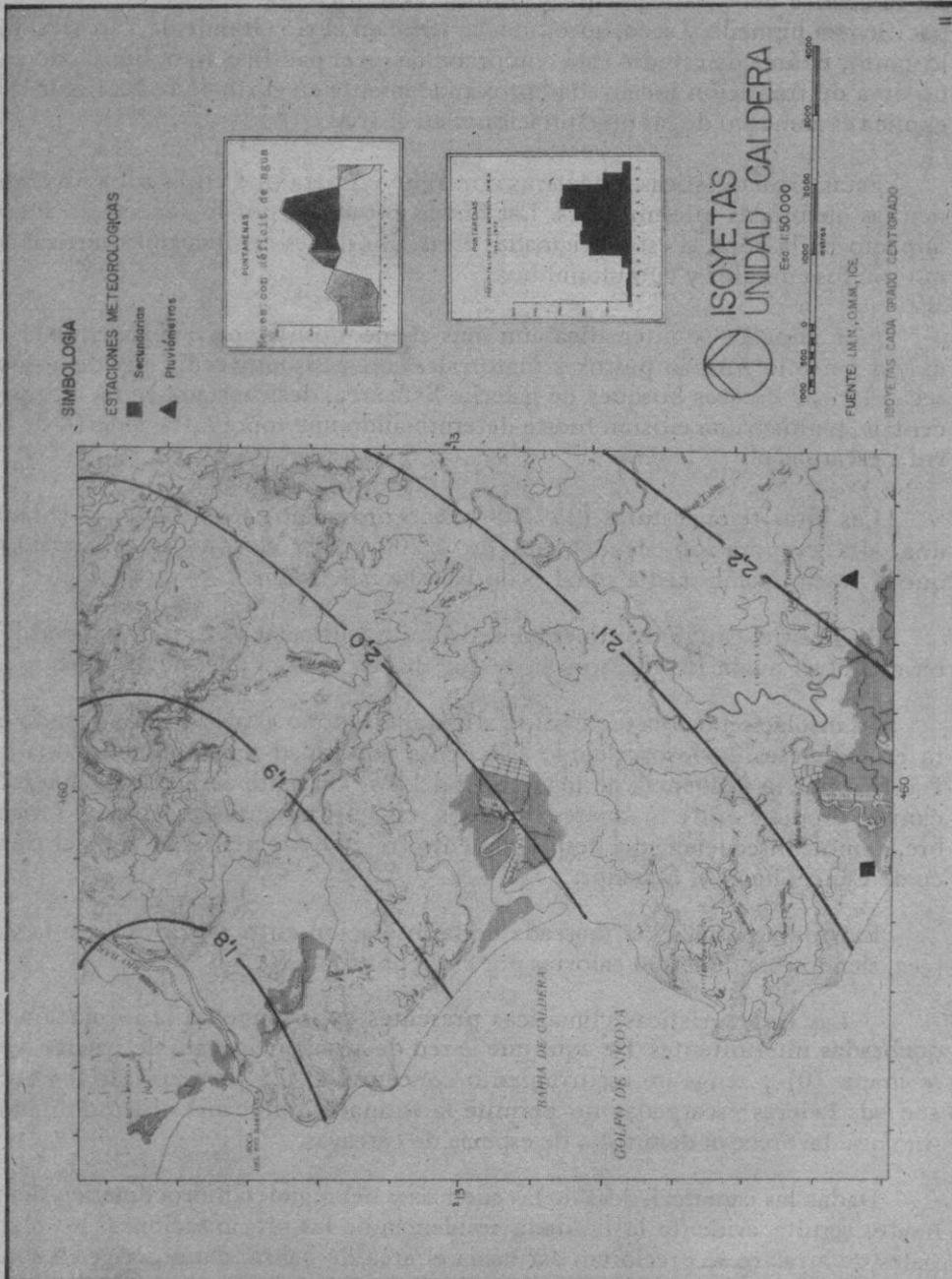
Es posible que durante el Pleistoceno, durante la fase tectónica que dio origen al sistema de horst y graben hubiera movimientos de desplazamiento lateral. Tal parece ser el caso del río Jesús María cuyo talweg parece haber sido cortado a la altura de el paso de Cambalache, con sucesivo aporte de sus aguas hacia el río Machuca (ver perfil D-D').

4.5.3 Análisis hidroclimático

Los datos aquí expuestos se refieren a la estación meteorológica de Punta Arenas, la cual ha sido seleccionada como estación representativa de las condiciones climáticas del litoral pacífico de nuestro país, por parte del IPGH, en el Atlas climático e hidrológico del istmo centroamericano.

El estudio climatológico permite analizar los elementos hidroclimáticos y establecer las correlaciones existentes entre precipitación y aportes continentales y las descargas de ambos elementos en el área de bahía.

El área de estudio está comprendida dentro de la zona cálida húmeda-seca alternada de baja latitud (ver gráfico precipitación media mensual). Esta zona presenta dos épocas bien definidas como se aprecia en el gráfico del déficit de agua, y en la cual se visualizan cinco meses sin precipitación. Este gráfico nos ofrece una generalización porque al observar los datos de las precipitaciones del IMN en la estación de San Miguel de Barranca, tenemos hasta seis meses con déficit.



Según el mapa de isoyetas existe un aumento de la precipitación de NW a SE la cual se debe básicamente a la división teórica que se hace de la zona del pacífico en húmedo y seco, aproximadamente en el río Grande de Tárcoles. Por lo tanto, el área de estudio está comprendida en el pacífico seco, limitando con un área de transición localizada aproximadamente en el río Jesús María, lo que explica el aumento de las precipitaciones en el área.

Estas características climáticas contribuyen para que en la zona predominen las quebradas intermitentes. Las lluvias producen por lo general un fuerte impacto en la zona al estar originadas éstas, por nubes de desarrollo vertical como son los cúmulos y cumulonimbus.

Este impacto se intensifica aún más al encontrarse con una área que en su mayor parte lo forman pastos y matorrales con áreas muy reducidas de bosque secundario y escasos bosques de galería. Esta área, desforestada en un alto porcentaje, permite una erosión fuerte determinando una topografía general, de cerriil a escarpada.

Las altas temperaturas (25°-30° como promedio) contribuyen a obtener una alta evaporación siendo ésta de 1.200, cifra elevada si se considera que la precipitación media anual es de 1.600 a 2.000 mm.

El área de estudio continental se delimita teóricamente por dos curvas isotérmicas (ver mapa 12) que son: la de 26° de NW a SE de 25° de SE a NE.

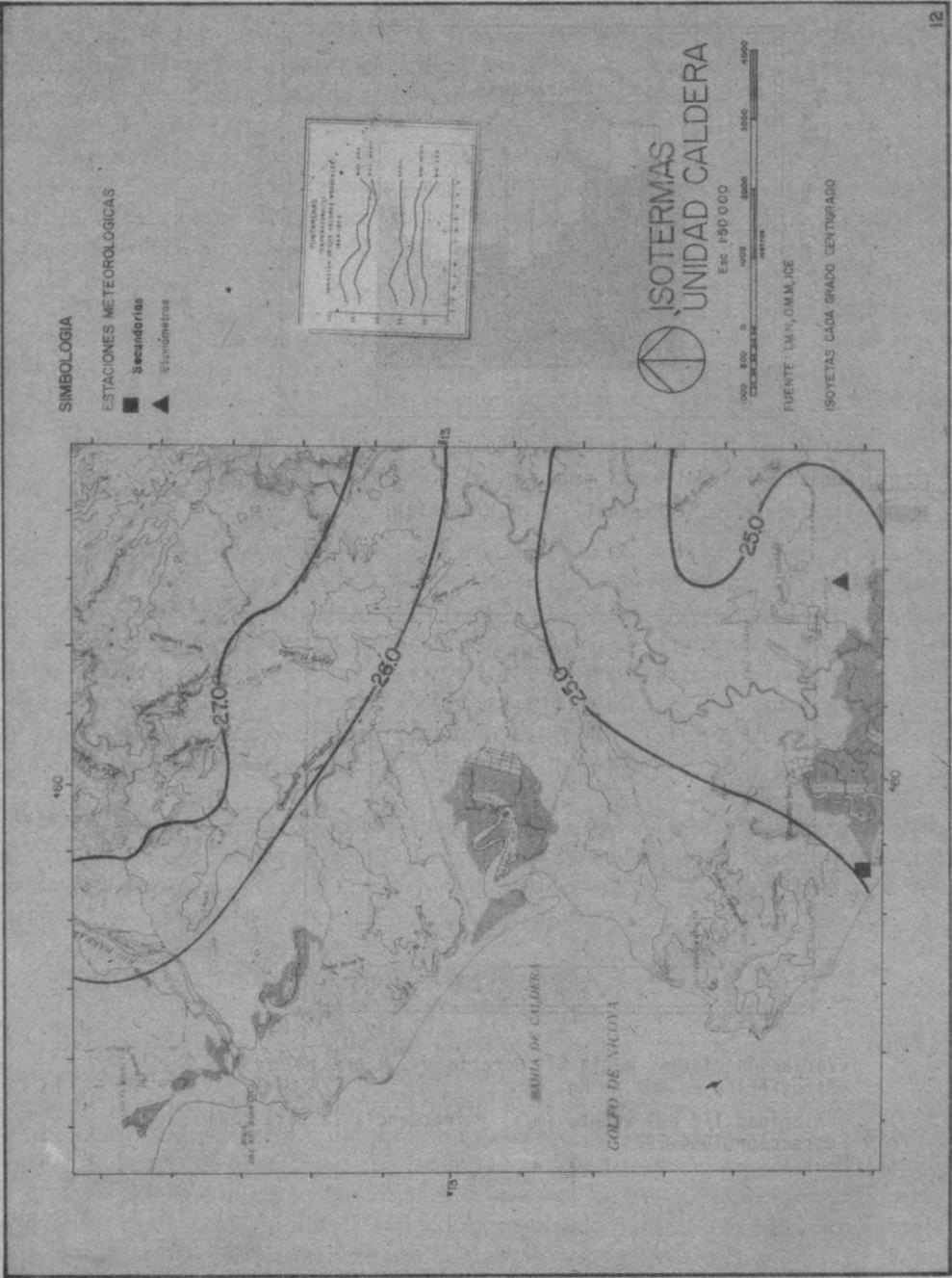
La insolación media mensual es alta durante todo el año, disminuyendo ésta en los meses lluviosos, debido a la densa nubosidad reinante en la zona del Pacífico por la influencia de los vientos del SW. Un lento aumento de la insolación se produce entre los meses lluviosos, específicamente en agosto y setiembre, como consecuencia del desplazamiento (regreso) aparente del sol, del trópico de Cáncer hacia el Ecuador.

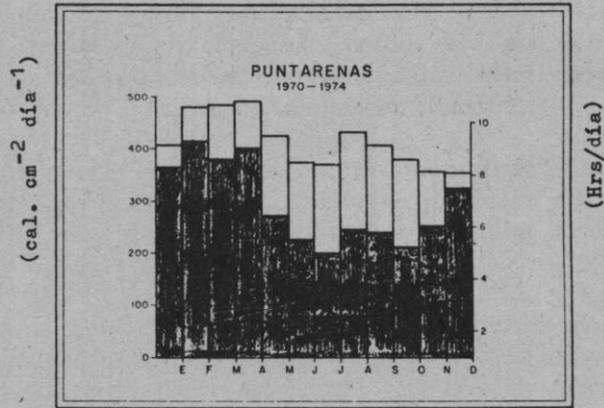
Existe una oscilación marcada de la insolación entre la época lluviosa y la seca, siendo ésta de 2.000 calorías por cm^{-2} por día⁻¹.

Las características climáticas presentes contribuyen a la formación de quebradas intermitentes. De aquí que la red de avenamiento sea deficiente (véase mapa 10) y tenga un escurrimiento concentrado. La presencia de los horst con sus laderas escarpadas no permite la formación de cauces bien definidos, sino que favorece el desarrollo de especie de cárcavas.

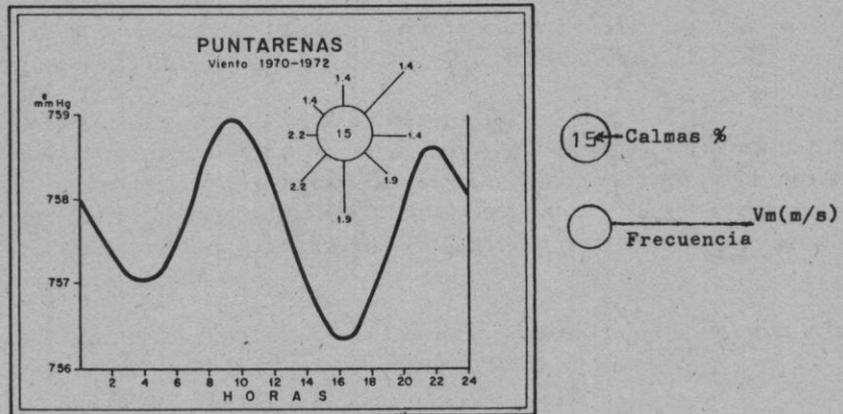
Dadas las características de las cuencas y del régimen hidroclimático dominante, resulta evidente la limitada residencia de las precipitaciones: los materiales de arrastre se precipitan así hacia el área de bahía, dando origen a zonas de deposición cercanas a la costa y a la dispersión de sedimentos, según patrones identificados en las fotografías aéreas.

Del análisis realizado se llega a la conclusión que los aportes son sólo en parte de origen local. Estos una vez en la costa, son barridos por el oleaje y la deriva litoral.





Variación diaria de la Insolación y de Radiación Global.
 ☐ Radiación global media mensual (Cal. cm⁻² dfa⁻¹)
 ■ Insolación Media Mensual (Hrs/ día).



-Variación diaria, media B1- Horaria de la presión Atmosférica en mms de Hg.
 -Velocidad 1/2 del viento (m/s) y frecuencia (% para cada dirección 1964-1973).

Lám. 9

5. DIAGNOSTICO DEL AREA

La extensión continental de la unidad comprende cuencas de tamaño limitado que bajo el régimen hidroclimático de la zona contribuyen escasamente con aportes líquidos y sólidos al área de bahía.

Las pendientes fuertes y escurrimiento concentrado hacen que dichos aportes se concentren en la época de mayor pluviosidad o sea en los meses de mayo a octubre con un máximo en agosto y setiembre, época en la que cabe esperarse el mayor aporte de sedimentos en el área de bahía.

A causa de la deriva litoral y del oleaje predominante, estos sedimentos tienden a dispersarse en sentido SE-NW sin que haya podido determinar el período de residencia de los mismos. En el período comprendido entre 1954-1958 la redistribución de sedimentos por los procesos apuntados, ha sido normal, en el sentido de que no se han producido crecimientos anómalos en la zona de baja o moderada energía. A partir de 1975 con la puesta en marcha de la construcción de las obras portuarias, se ha modificado ese equilibrio con deposición de sedimentos en el área del desarrollo y su efecto se ha dejado sentir en la flecha de Mata de Limón donde el crecimiento ha sido de 600 m. aproximadamente, así mismo, se observa que en la sección sur del área, cerca de punta Corralillo se ha depositado una considerable extensión de sedimentos procedentes de Tivives. Al encontrar el obstáculo, por efecto combinado del oleaje, se produce una área de turbulencia con la formación de vértices y barrido de sedimentos hacia la flecha. En este recorrido parte de ellos se depositan en el puerto. De lo anterior se deduce que las obras han ocasionado un trastorno dinámico a favor de la sedimentación.

Desde el punto de vista morfogenético se puede estimar que el litoral es relativamente juvenil con desarrollo de acantilados, cavernas, estrán y cordones litorales pedregosos, de cantos vivos y arenas poco escogidas. Lo anterior denota un nivel de energía de moderado a fuerte.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que la Unidad Caldera desde el punto de vista morfogenético presenta una estrecha relación con la evolución geológica-estructural del área. Así mismo la red de avenamiento que como se ha inferido, cambió en época reciente por desplazamiento de falla, ocasionando el desvío del río Jesús María a la altura del paso Cambalache y su ulterior unión con el río Machuca. Lo anterior ha producido la progresiva desaparición del estero Mata de Limón. Los resultados obtenidos suponen así mismo que los aportes líquidos del estero sean de origen freático por recarga en zona hacia el este. La emergencia de estas aguas de origen continental se verían favorecidas por la estructura geológica.

Según se ha argumentado el equilibrio físico de la zona de bahía ha sido modificado por las instalaciones portuarias que realiza el Ministerio de Obras Públicas y Transportes. En efecto, la sedimentación en la zona de puerto se ha

reactivado considerablemente dejando sentir sus efectos más notorios en la flecha de la boca del estero.

De lo anterior se deduce la necesidad de realizar estudios de sedimentación, transporte, y tiempos de residencia de los sedimentos utilizando trazadores u otros medios apropiados para tal fin. Así mismo se recomienda estudiar la composición de las aguas del estero para determinar su procedencia. Sería de gran utilidad además, determinar la naturaleza del oleaje y de la energía en la zona de puerto y área de fondal utilizando series de tiempo.