

**REPUBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ
FACULTAD DE GEOLOGIA Y MINERIA**

**ESTUDIO INGENIERO – GEOLOGICO
REGIONAL DEL POLO TURISTICO DE BAHIA
DE MATA**

**TESIS EN OPCION AL GRADO DE MASTER EN CIENCIAS
GEOLOGICAS EN LA MENCIÓN DE GEOTECNIA**

**AUTORA: ING. MARISEL CONDE RODRIGUEZ
TUTORES: Dr. RAFAEL GUARDADO LACABA
ING. NORGE CARRALERO CASTRO**

Moa, 17 de Julio del 2003.

Agradecimientos.

A todos aquellos que de una u otra manera contribuyeron a la ejecución y terminación de este trabajo.

Dedicatoria.

A Ernestico

INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
CAPITULO I.- CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DEL POLO TURISTICO DE BAHIA DE MATA.	9
<i>I.1.- Características físico – geográficas y económicas</i>	9
<i>I.1.1.- Clima</i>	9
<i>I.1.2.- Relieve</i>	9
<i>I.1.3.- Hidrografía</i>	10
<i>I.1.4.- Vegetación y fauna</i>	10
<i>I.1.5.- Vías de comunicación</i>	11
<i>I.1.6.- Economía</i>	12
<i>I.1.7.- Materiales de construcción</i>	12
<i>I.2.- Características geológicas</i>	12
<i>I.2.1.- Estratigrafía</i>	12
<i>2.2.- Análisis estructural</i>	20
<i>I.2.3.- Evolución geológica</i>	22
<i>I.2.4.- Geomorfología</i>	23
<i>I.2.5.- Hidrogeología de la región</i>	26
<i>I.2.6.- Procesos y fenómenos físico – geológicos</i>	27
<i>I.2.7.- Análisis de los complejos litológicos</i>	30
<i>I.2.8.- Propiedades físico – mecánicas</i>	31
<i>I.2.9.- Pronóstico de las posibles zonas de inundación</i>	33

<i>I.3.- Algunas características ambientales del área de desarrollo del polo</i>	35
CAPITULO II.- METODOLOGIA Y VOLUMEN DE LAS INVESTIGACIONES.	37
<i>II.1.- Metodología de los trabajos</i>	37
<i>II.1.1- Teledetección y fotointerpretación</i>	39
<i>II.1.2.- Digitalización y obtención del modelo digital de terreno (MDT)</i>	41
<i>II.1.3.- Análisis morfométrico y morfológico</i>	44
<i>II.1.4.- Obtención automatizada de los morfoalineamientos</i>	48
<i>II.1.5.- Obtención automatizada de las zonas con probable desarrollo del curso</i>	49
<i>II.1.6.- Procesamiento geomatemático de la información</i>	50
<i>II.1.7.- Visibilidad desde los miradores propuestos por Plan Director</i>	53
CAPITULO III.- CLASIFICACION INGENIERO – GEOLOGICA PRELIMINAR Y ANALISIS DE LA CONVENIENCIA INGENIERO – GEOLOGICA Y CONSTRUCTIVA	55
<i>III.1 Clasificación ingeniero – geológica preliminar</i>	55
<i>III.2.- Análisis de los bloques estructurales</i>	58
<i>III.3.- Transformación de los resultados a conveniencia ingeniero – geológica</i>	59
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	68
ANEXOS	

RESUMEN

El “Estudio ingeniero – geológico regional del Polo Turístico de Bahía de Mata” fue ejecutado a escala 1:25 000 con el objetivo de valorar la conveniencia ingeniero – geológica de las zonas de interés constructivo, para lo que se emplearon diferentes técnicas de teledetección, procesamiento de imágenes, análisis geomatemático de los datos, etc. con comprobaciones de sus resultados durante los trabajos de campo.

El trabajo fue estructurado en 3 capítulos, emitiéndose además las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

En el Capítulo I se ofrecen las características físico – geográficas y económicas del área de estudio, en este capítulo se exponen también las características geológicas de la región usando las fuentes actualizadas y estableciendo su interrelación con los resultados obtenidos durante los trabajos de campo para el análisis estructural, geomorfológico, hidrogeológico, etc. Se introduce en este capítulo el concepto de Complejo litológico, brindando además el pronóstico de las posibles zonas de inundación

El capítulo II está referido al volumen y metodología de los trabajos, aquí se hace hincapié en discutir de forma sencilla el empleo de las metodologías utilizadas, sobre todo las desarrolladas por el Grupo de Estudios Regionales – CITEC y que aportan novedad científica y técnica para estos estudios.

En el Capítulo III se desarrolla la metodología para el análisis de la conveniencia ingeniero – geológica preliminar y análisis de la conveniencia Ingeniero-geológica constructiva de los polos turísticos, donde ha sido comprobada su efectividad, al transformar las variables cualitativas en conclusiones de aplicación práctica.

En las conclusiones se ofrecen los principales resultados a que se arriba por el empleo de este sistema de investigación, recomendando los aspectos o tareas que no es posible resolver en esta etapa y que constituyen prioridades para lograr los objetivos de este estudio que es contribuir a la reducción de los costos de la investigación en la etapa detallada.

El texto es acompañado por parte de los materiales fotográficos obtenidos en el campo, 20 anexos gráficos, figuras, tablas y la bibliografía utilizada.

INTRODUCCION.

El desarrollo del turismo constituye uno de los elementos dinamizadores de la estrategia económica y social del país. La necesidad del desarrollo acelerado y creciente del potencial turístico humano y natural con que cuenta Cuba, en particular su región oriental, y de su máximo aprovechamiento como fuente económica de gran importancia ha determinado que la zona litoral correspondiente al Plan Atlántico Norte se convierta en un objetivo altamente priorizado del Estado y el gobierno cubano con planes a corto, mediano y largo plazo. Por sus características naturales la región al este de la Ciudad de Baracoa ofrece posibilidades para el fomento y crecimiento de esta industria.

Para acometer estos planes el Instituto de Planificación Física de Guantánamo, la Inmobiliaria ALMEST y Gaviota S.A, han elaborado una estrategia que contempla el desarrollo de la zona de Bahía de Mata como un polo turístico de perspectiva por sus condiciones paisajísticas y naturales, para lo cual han propuesto un proyecto de ordenamiento territorial muy integral y funcional, que deberá ser aprobado en un futuro cercano, desde el punto de vista constructivo y de explotación (Anexo 2).

Considerando estas particularidades, el grado de estudio de la región y las complejidades ingeniero – geológicas se planteó ejecutar un estudio integral que a través de la utilización de las tecnologías de avanzada en el campo de las geociencias, permitiera tomar decisiones en torno al plan director propuesto, técnicamente argumentado, y además orientar las investigaciones detalladas para optimizar los resultados y lograr una reducción de los costos.

Estado actual de la temática e investigaciones precedentes.

La zona de Bahía de Mata presenta un insuficiente grado de estudio desde el punto de vista geológico en general y sobre todo en el aspecto ingeniero – geológico. Sólo se han realizado allí los estudios correspondientes al levantamiento geológico a escala 1:250 000 de la Brigada Cubano – Húngara concluidos a fines de la década del 70 y cuyo resultado principal fue la emisión del Mapa Geológico de Oriente a escala 1:250 000.

Con posterioridad en el año 1981 se realizó el levantamiento geológico del polígono CAME V – Guantánamo realizado por un equipo de geólogos húngaros y cubano, obteniéndose el Mapa Geológico a escala 1:50 000 aunque desgraciadamente no alcanzó a

la Cuenca de Mata y sólo es posible utilizarlo como referencia regional y establecer analogías con otros sectores de la costa norte de las provincias Holguín y Guantánamo.

Nagy, E. (1976) publicó un artículo referido a las características geológicas de la depresión Baracoa - Mata, estableciendo el corte estratigráfico y las particularidades tectónicas de la zona. Hasta la ejecución de este trabajo sus resultados eran los más precisos y detallados existentes.

En este propio año Pérez (1976) publicó un trabajo de tipo regional referido a las características ingeniero - geológicas de las provincias orientales, tratando con mucha brevedad a esta región.

Se conocen otros trabajos de carácter regional realizados por el INRH (1985) y otras instituciones pero sus resultados sólo pueden ser usados como referencias.

Planteamiento del problema.

El derrumbe del bloque socialista provocó un impacto negativo en la actividad económica del país, que trajo como consecuencia la necesidad de buscar sectores emergentes para el desarrollo, entre los cuales se le prestó un marcado interés y esfuerzo a la industria turística dadas las características climáticas, paisajísticas e históricas de Cuba, surgiendo la necesidad de incrementar en el conocimiento ingeniero - geológico de la zona costera del Atlántico Norte de las provincias de Holguín y Guantánamo donde se concentran importantes sectores de playas favorables para la explotación de los recursos naturales que en ella se encuentran y de su entorno, con la utilización de técnicas modernas de investigación que abaraten los costos y a su vez eleven la calidad.

Hipótesis.

Las rocas y las estructuras geológicas, así como los procesos y fenómenos geológicos que se producen en la región, se reflejan en la superficie terrestre por diferentes rasgos, por lo que a través del procesamiento digital de las imágenes de las fotos aéreas y cósmicas y del Modelo Digital del Relieve, se puede obtener con alta precisión, de forma rápida y bajo costo gran parte de la información geológica e ingeniero - geológica, la que será

completada con una adecuada comprobación de campo en dependencia de la escala, tomando como base el umbral del conocimiento que existe sobre la región, pudiéndose establecer la conveniencia constructiva del sector estudiado.

Objetivos de la investigación.

Objetivo principal.

- *Establecer la conveniencia ingeniero – geológica y constructiva con fines turísticos del sector de Bahía de Mata, profundizando en el conocimiento geológico y tectónico que sirva de base a los trabajos futuros y contribuyan a mejorar el plan de ordenamiento territorial que se estableció para la región, creando las bases para la implementación de un sistema de información geográfica.*

Objetivos específicos.

- *Valorar la conveniencia ingeniero - geológica y constructiva del sector del polo turístico considerando los aspectos paisajísticos y naturales del entorno.*
- *Caracterizar las zonas de riesgo dentro del plan de ordenamiento territorial y su influencia en las obras previstas en el Plan Director.*
- *Establecer el cuadro geólogo-estructural de la región y caracterizar el grado de afectación de las secuencias rocosas por los eventos tectónicos producidos con anterioridad.*

Marco teórico y métodos de investigación.

Las investigaciones geológicas regionales y su aporte al área de estudio que se han realizado son muy bajas, estando referidas en lo esencial a los trabajos realizados en la zona por la Brigada Cubano – Húngara en el año 1976. Los elementos regionales más significativos son:

- *Cuba constituye parte integrante de la Placa Norteamericana, siendo su límite sur limítrofe con la Placa Caribe a través de la falla Oriente, perteneciente al sistema de fallas Bartlett - Caimán de desplazamiento siniestro (Pindell, 1985 y 1994).*
- *Las formaciones geológicas y asociaciones litológicas de Cuba, se formaron en ambientes geotectónicos definidos, lo que permite sistematizarlas por este concepto en Asociaciones Estructuro Formacionales (AEF), que permiten un mejor estudio (Quintas, 1989).*
- *La zona de Bahía de Mata constituye una cuenca de segunda generación superpuesta sobre un basamento conformado por las secuencias de los arcos volcánicos y rocas de la asociación ofiolítica (Nagy, 1976).*
- *Los sistemas de fracturas principales de la región de estudio, la dividen en bloques constructivos con escaso movimiento entre ellas, caracterizándose por su estabilidad actual, disección y otras características morfológicas (Nagy, 1976)*
- *Los estudios automatizados por procesamiento digital de imágenes, usando múltiples variables, principalmente las obtenidas por teledetección y del modelo digital del terreno (MDT), garantizan extraer una información geológica e ingeniero – geológica de alto valor, que permite disminuir los trabajos de campo garantizando la confiabilidad de los resultados. (Astráin P, 1990; Guilarte C y Astráin P, 1994, Colectivo de autores del GER- Oriente, 2000 - 2003).*

Este último aspecto, constituye precisamente el método de investigación principal utilizado, sin obviar, por supuesto, la información preexistente y la experiencia acumulada en el Grupo de Estudios Regionales de Oriente en la caracterización de otros 7 polos turísticos del Plan Atlántico Norte, con aplicación directa de trabajos de levantamiento ingeniero – geológico y modelación de los resultados.

Breve bosquejo sobre la utilización del método en Cuba.

La Teledetección, es una técnica muy eficaz, que se viene utilizando en los estudios geológicos, forestales, agrícolas, de planificación urbanística y de otros tipos, desde hace ya algún tiempo, cuando comenzó con los estudios de las fotografías aéreas (Fotogeología) primeramente y estudio de satélites después. Inicialmente los estudios se hacían con fotos pancromáticas en blanco y negro, más tarde se introdujo la fotografía a color, que si bien revolucionó la teledetección, tenía como inconveniente que los colores de la foto no representaban los colores reales de los objetos fotografiados. Más tarde con la introducción de los diferentes filtros en las lentes de las cámaras fotográficas, se obtuvieron fotos multiespectrales que daban mucha más información sobre los objetivos fotografiados y con la fabricación de películas sensibles a diferentes longitudes de ondas se obtuvieron las fotos espectrozonales o multibandas que permitían hacer combinaciones entre estas.

Con la introducción de las cámaras digitales, se produjo un salto cualitativo en la Teledetección, pues se comenzó a utilizar todas las posibilidades de las técnicas de cómputo. De esta forma, surge el procesamiento digital de imágenes, que permitió usar múltiples campos físicos en la resolución de problemas geológicos, como los antes mencionados.

Dentro de los campos físicos que se pueden utilizar en combinación con las imágenes cósmicas y aéreas, se encuentran los levantamientos aerogeofísicos, procesamiento de la información gravimétrica, sismológica y sobre todo la creación y utilización del Modelo Digital del Terreno (MDT).

Hasta ahora en Cuba han sido pioneros en el empleo de estas técnicas, los investigadores del I.G.P y los Grupos de Estudios Regionales del CITEC de la UCM, uno en la capital de la República y el otro ubicado en la cabecera municipal de la provincia de Holguín. El I.G.P hasta ahora ha rectorado estos estudios y para ello han adquirido potentes Sistemas de Información Geográfica (GIS) y junto a esto, sistemas de procesamiento de imágenes.

La generalización en la utilización de estas técnicas, surge ya como una necesidad para todas las instituciones que se dedican en el país a las investigaciones geológicas a todas las escalas, pues abarata los costos, ahorra recursos materiales, financieros y humanos, tan necesarios en la coyuntura económica por la que atraviesa el país.

En este trabajo se empleó el equipamiento disponible por el GER - CITEC - UCM de Holguín, así como sistemas computarizados de factura nacional como el TELEMAT con todos sus módulos, los paquetes de programas desarrollados por el CITEC, así como los sistemas no nacionales como el SURFER, AutocadMap 2000, Picture Publisher, entre otros.

El Modelo Digital del Terreno con el que se trabajó comprende el área de estudio que se menciona, la misma se encuentra comprendida entre las coordenadas Lambert 750000 hasta la 761000 por la X y 179500 hasta la 188370 por la Y.

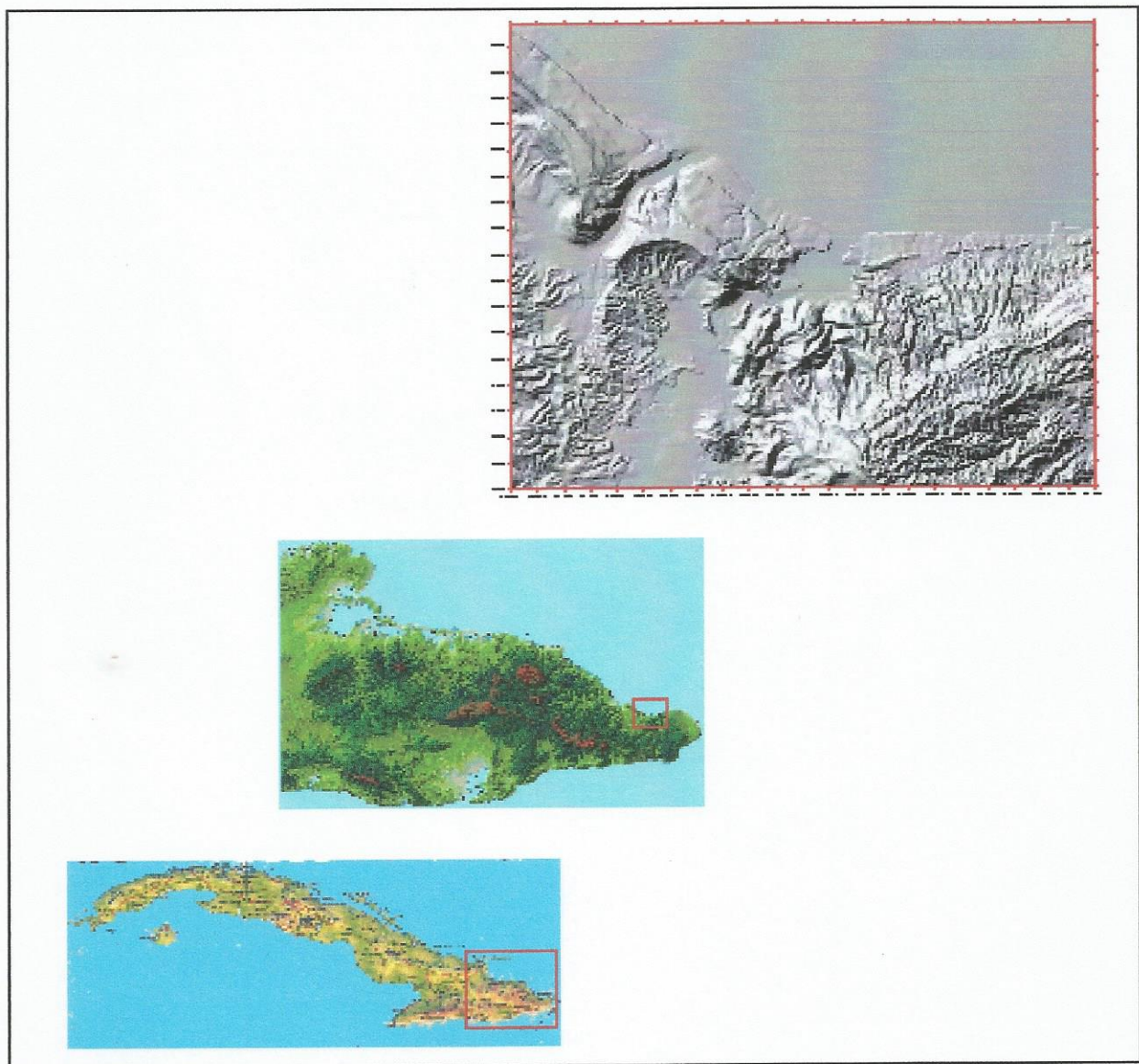


Fig1.- Mapa de ubicación geográfica del Polo Turístico de Bahía de Mata

Novedad científica.

Esta se encuentra en la actualización del mapa geológico y tectónico del área de estudio con el empleo del procesamiento digital de imágenes. Además de los resultados a los que se llega, como novedad, queda la metodología del procesamiento y las capas de la región de estudio, que pueden ser usadas en cualquier Sistema de Información Geográfica por futuros investigadores de la región en las ramas geológicas, ambiental, minera, de planificación urbanística, agrícola.

CAPITULO I.- CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DEL POLO TURISTICO DE BAHIA DE MATA.

I.1.- Características físico – geográficas y económicas

I.1.1.- Clima.

El sector correspondiente al Polo Turístico Bahía de Mata se encuentra dentro de la Zona Físico – geográfica de las Alturas de Baracoa de la Región Oriental según el Nuevo Atlas Nacional de Cuba (1988).

La temperatura media anual del aire oscila entre los 25° - 26°. La temperatura media mensual en el verano (Julio) es mayor de 28 ° mientras que en el invierno (Enero) es mayor de 24 ° disminuyendo hacia el interior.

La precipitación media anual es de 1800 –2400 mm, en tanto que en el período lluvioso (Mayo – Octubre) es de 1000 – 1200 mm y en el período seco (Noviembre – Abril) alcanza 800 – 1000 mm. La humedad relativa media anual es de 80 %, con valores máximos y mínimos de 90 % y 75 %.

Los vientos predominantes son del Este y del nordeste alcanzando velocidades máximas en el primer caso de hasta 20 Km/h.

I.1.2.- Relieve.

La región del Polo Turístico de Bahía de Mata se caracteriza por la presencia de dos zonas bien diferenciadas:

Zona 1(de terrazas).- Se encuentra distribuida entre la línea de costa y dos niveles de terrazas con predominio de las rocas carbonatadas organodetríticas y arrecifales con un alto nivel de carsificación superficial, aunque las formas subterráneas también están presentes. Por detrás del segundo nivel de terrazas se destaca una meseta discontinua con altura máxima de alrededor de 200 m. Estas terrazas se disponen de forma continua paralelamente a la costa, excepto en la Bahía de Mata donde se interrumpen totalmente.

Zona 2.- Comprende toda la parte ubicada al sur de los niveles de terrazas y los alrededores de la Bahía de Mata hasta el límite meridional estando constituido por elevaciones que aumentan bruscamente su altura hacia el sur sobre todo hacia la parte oriental del área de trabajo. La cota máxima es de 500.9 m al suroeste de Buenavista.

Al suroeste de la Bahía de Mata se extiende un importante valle fluvial siguiendo la dirección del río del mismo nombre. Otro valle fluvial pero de carácter subordinado al anterior es el correspondiente al río Boma.

I.1.3.- Hidrografía.

La zona del Polo Turístico de Bahía de Mata se caracteriza por la existencia de una red hidrográfica poco desarrollada destacándose los ríos Boma al Oeste y Mata en la parte central. Ambos cursos fluviales corren con una dirección aproximada del SW al NE. Se destacan unos pocos arroyos permanentes como el Viaya y el Guandao, el resto son temporales y corren fundamentalmente en dirección longitudinal.

Dentro del área el curso fluvial principal es el río Mata que la atraviesa en toda su extensión en dirección SW-NE. Las cuencas de los ríos principales están conformadas por una red dendrítica. A unos 5 Km al este del límite del polo se encuentra el río Yumurí que tiene importancia regional.

En la llanura costera la red hidrográfica es prácticamente inexistente estando representada sólo por la desembocadura de los ríos citados y cursos paralelos muy cortos. Esta característica es propia de las zonas donde existe un amplio desarrollo del carso.

I.1.4.- Vegetación y fauna.

En la zona del Polo Turístico de Bahía de Mata existe una vegetación muy diversa con características contrastantes en dependencia de la zona de exposición y las litologías predominantes.

La vegetación en general se clasifica como herbazales ruderales y pratenses con aislados arbustos muy secundarios, con predominio de las maniguas costeras y uverales (Foto 1).

La fauna de la zona es muy pobre en animales endémicos. Dentro de los mamíferos se destaca el murciélago mariposa. Las aves son el grupo más abundante con predominio del gavilán caguarero, paloma perdiz, pájaro mosca, catey, cotorra y algunos ejemplares de colibríes.

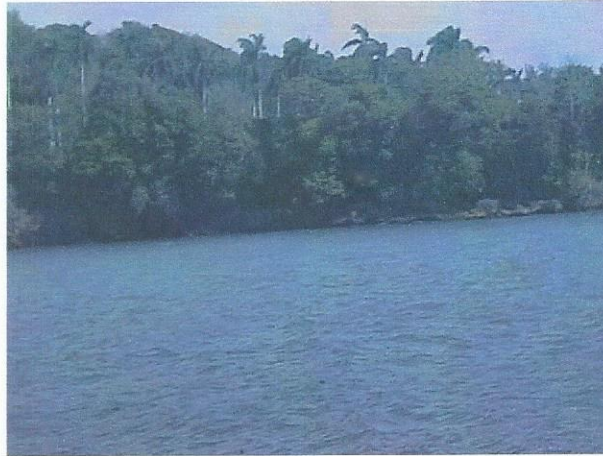


Foto 1.- Características de la vegetación en la Bahía de Boma

I.1.5.- Vías de comunicación.

Por toda el área y en dirección W-E corre la carretera Baracoa – Maisí (Foto 2) que se encuentra en buen estado. A partir de la misma y en dirección Norte y Sur parte una serie de terraplenes y caminos que conducen a los asentamientos poblacionales más importantes y a las playas. En sentido general la red vial secundaria se encuentra en muy mal estado sobre todo en la zona costera.

La zona de interés para el Polo Turístico se encuentra cubierta por el Sistema Electroenergético Nacional, existiendo una subestación cercana a la ciudad de Baracoa.

Las comunicaciones telegráficas y telefónicas son escasas en correspondencia con el nivel de desarrollo actual de la región.



Foto 2.- Carretera Baracoa – Maisí que atraviesa el área en toda su extensión en dirección del oeste al este.

I.1.6.- Economía.

La economía de la región está asentada en la agricultura que se desarrolla fundamentalmente en la producción de café, coco, cacao, cultivos varios y en menor cuantía en la ganadería vacuna y en la ovino – caprina. Existen algunas pequeñas producciones artesanales y semi - industriales en los centros poblacionales más importantes.

I.1.7.- Materiales de construcción.

Dentro del área de estudio y en zonas cercanas existen materiales que aparentemente presentan buenas condiciones para ser utilizados como materiales de construcción por lo que se recomienda realizar sobre los mismos los ensayos correspondientes.

Las calizas duras de las formaciones Maya, Jaimanitas y Cabo Cruz pueden ser utilizadas, teniendo en cuenta las áreas en que las mismas aparecen expuestas y la necesidad de su conservación, como materiales de construcción.

Las tobas ácidas de la Formación Castillo de los Indios, son ricas en zeolitas y minerales del grupo de las arcillas. Estas rocas han sido utilizadas con éxito en otras localidades para la fabricación de cemento romano.

Las rocas ultrabásicas serpentinizadas y el material conglomerático de la formación Cabacú pueden ser utilizadas como préstamo para la construcción de viales.

En los cauces de los ríos principales de la zona y de la región existen volúmenes de arena que pudieran ser usados racionalmente en la construcción de determinadas obras. En los propios cauces existen también cantidades apreciables de gravas que pueden usarse con el mismo fin.

I.2.- Características geológicas.

I.2.1.- Estratigrafía.

En la zona de Bahía de Mata aparece una geología muy compleja desde el punto de vista estratigráfico por las múltiples variaciones verticales y laterales dentro de las diferentes formaciones existentes. Estructuralmente las condiciones no son tan complejas debido a que las rocas más antiguas tienen una edad que corresponde al Eoceno medio que es el

momento en que se inicia el período de atenuación de los movimientos orogénicos en Cuba y su paso posterior (Eoceno superior – Oligoceno) al estadio de plataformización.

Según la clasificación de Quintas (1989) se puede establecer la existencia de las siguientes zonas estructuro – formacionales:

- AEF del arco de islas volcánico del Paleógeno: Formación Castillo de los Indios.
- AEF de las cuencas superpuestas de 2^{da} generación. Formaciones Capiro y Cabacú.
- AEF del período neoplatafórmico de desarrollo: Formaciones Cabo Cruz, Maya y Jaimanitas.

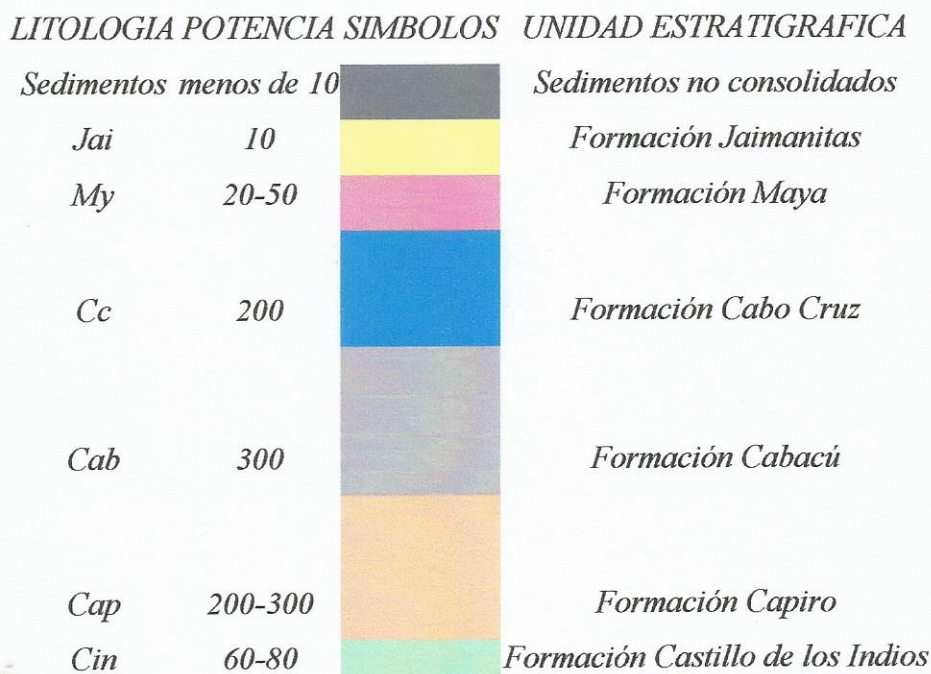


Fig 2 .- Columna litológica esquemática

Formación Castillo de los Indios (Cin).- Aparece en la zona en forma de una mancha hacia la parte centro – meridional contactando con las formaciones Cabo Cruz, Capiro y Cabacú. Este último contacto es tectónico.

Está constituida por tobas ácidas, con predominio de las variedades vitroclásticas y litovitroclásticas, a veces, los estratos son gruesos, pero generalmente son de 1 – 25 cm de espesor.

Tienen amplia distribución las calizas, margas, tufitas y aleurolitas de grano fino. En ocasiones las rocas calcáreas predominan sobre las tobas como se observa hacia la localidad de Cueva Fría (Foto 3). Las tobas y margas son muy ligeras. Son rocas muy ligeras y porosas y de muy baja dureza por lo que son fácilmente erosionables. Sus contactos con las rocas que la sobreyacen e infrayacen son generalmente discordantes estratigráficamente raramente son tectónicos.

Potencia: máxima 250 m, aunque como regla es de 60 – 80 m.

Edad: Eoceno (inferior – medio).



Foto 3.- Tobas ácidas de color crema de la Formación Castillo de los Indios en el camino de Mata a Cueva Fría.

X: 755220; Y: 181540.

***Formación Capiro (Cp).**- Está constituida por una secuencia de aleurolitas calcáreas micáceas, de color parduzco a parduzco amarillento, de estratificación indefinida o no observable. La secuencia es muy uniforme, no presenta cambios litológicos ni horizontal, ni verticalmente. Los planos de superación son ondulados y la disyunción esferoidal es muy frecuente. Se observan bioglifos, huellas de moluscos y fragmentos de plantas carbonizadas. La facies es lagunar, marina con influencia parálica (Foto 4).*

Potencia: 200 – 300 m.

Edad: Eoceno superior.



Foto 4.- Aleurolitas estratificadas de la Formación Capiro.

X: 752180; Y: 181680

Formación Cabacú (Cb).- *Litológicamente constituye un conglomerado polimictico de estratificación indefinida, cruzada y lenticular; se observan también espesores de 5 – 6 m, sin estratificación interna. La matriz es areno - margosa, de color gris parduzco. El material clástico está bien seleccionado, predomina el tamaño de 4 – 5 cm (Foto 5).*

Los cantos rodados están constituidos por ultramafitas, lavas y tufitas oxidadas y alteradas y en menor cantidad de gabros y aleurolitas compactas de la formación subyacente (Capiro). Los cantos están en ocasiones cubiertos por una película ferro – mangánica. Los mejores afloramientos de la Formación Cabacú dentro del área de trabajo se observan en el alto de Niña Bonita y sus alrededores hasta la parte suroriental de la Bahía de Mata .

Potencia: 300 m.

Edad: Eoceno superior – Mioceno inferior.



*Foto 5.- Conglomerados polimicticos de la Formación Cabacú
en el Alto de Niña Bonita. X: 752200; Y: 183200*

Formación Cabo Cruz (Cc).- Aparecen calizas biodetríticas arcillosas, fosilíferas, de color rojizo a abigarrado que por su disgregación dan lugar a rocas margosas secundarias y pseudoconglomerados (Foto 6). Las calizas pueden aparecer ligeramente fosfatizadas. Como regla las rocas de la Formación Cabo Cruz se caracterizan por aparecer en elevaciones con paredes en forma de farallones y cimas aplanadas. Hacia la parte suroriental de la zona se encuentran los mayores afloramientos de esta secuencia.

Potencia: 200 m.

Edad: Mioceno superior



Foto 6.- Calizas con estratificación masiva de la Formación Cabo Cruz.

X: 752120; Y: 184440

Formación Maya (My).- Forma una franja costera desde la Bahía de Taco al Oeste de Baracoa, bordeando Maisí y toda la costa Sur hasta Cabo Cruz, en parches intermitentes. Está constituida por calizas coralinas duras, recristalizadas, intensamente carsificadas. Su color varía entre blanco, amarillento y rosáceo, con manchas de intemperismo de color rojizo. La fauna por lo general es pobre y recristalizada. Sus contactos son siempre estratigráficos y generalmente discordantes (Foto 7).

Las terrazas que se desarrollan en la misma son favorables para la colocación de miradores con fines turísticos dada la altura que poseen y las características paisajísticas del lugar.

Potencia: 20 – 50 m.

Edad: Plioceno – Pleistoceno.



*Foto 7.- Calizas de la Formación Maya en la localidad de Guandao.
Observe el alto grado de carsificación de las mismas y las cavernas existentes.*

X: 757340; Y: 183780

***Formación Jaimanitas (Ja).**- Aparece en una franja estrecha bordeando toda la zona costera de manera casi continua con aisladas interrupciones en la parte interior de algunas bahías. Está constituida por calizas biodetríticas, masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas, conteniendo principalmente conchas bien preservadas y corales de especies actuales y ocasionalmente biohermos. Las bolsas cársicas se encuentran rellenas por una fina mezcla de carbonato arcilloso ferruginoso de color rojo ladrillo. Pasan a calcarenitas masivas o finamente estratificadas que a veces contienen intercalaciones de margas. La cementación es variable. El color de la formación es predominantemente blancuzco o amarillento. Sus contactos son discordantes.*

En la zona del polo de Bahía de Mata la Formación Jaimanitas dadas las características de la costa forma en ocasiones verdaderos acantilados con imponentes cornisas, como se observa en la Bahía de Boma (Foto 8).

Potencia > 10 m.

Edad: Pleistoceno superior.



*Foto 8.- Costa abrupta de calizas masivas de la Formación Jaimanitas
en el límite sur de la Bahía de Boma.*

X: 753800; Y: 185820

Sedimentos no consolidados: Comprende una amplia gama de tipos genéticos entre los que se destacan los sedimentos aluviales, palustres y marinos. En sentido general los primeros se encuentran relacionados con los cauces fluviales y las llanuras de inundación mezclándose con los segundos en las zonas bajas de las bahías existentes en la región, en tanto que los sedimentos marinos se desarrollan principalmente en la costa.

En sentido general los materiales sueltos no consolidados tienen un pobre desarrollo en la zona, lo cual es un elemento favorable, sobre todo en el caso de los sedimentos palustres.

- *Sedimentos marinos (m); representados por arenas calcáreas de playas constituidos por arenas sueltas y biocalcarenitas de origen arrecifal, que son reconocidas en la literatura geológica como Formación Varadero. Estas arenas son de color claro y de granulometría fina a media. Los mejores lugares de exposición de estas arenas se encuentran en Playa Cajuajo donde se observa una berma de gran amplitud de materiales de color blanco rosáceo.*

Edad: Q_{IV}

Potencia: 5 m

- *Sedimentos palustres (p); constituidos por arcillas, aleurolitas arcillosas y arenas con predominio de la vegetación de manglares. En sentido general el desarrollo de*

pantanos en la zona es relativamente bajo y sólo aparecen de forma aislada en zonas cercanas a la costa y en conjunción con los depósitos aluviales que se depositan en las desembocaduras de los ríos en las partes interiores de las bahías. En la zona de estudio los lugares de máxima aparición de estos depósitos son al sur de la Bahía de Boma donde se interdigitan con los materiales aluviales del río de igual nombre y en la parte occidental de la Bahía de Mata.

Edad: Q_{IV} Potencia: 2 m

- *Sedimentos aluviales (al); aparecen en el cauce y llanura de inundación de los ríos existentes en la zona. Están constituidos por arenas, aleurolitas, arcillas, gravas y guijarros. Presentan una amplia distribución superficial sobre todo al sur del poblado de El Jamal hasta la localidad de Barrancadero y hacia el extremo occidental de la zona.*

Edad: Q_{IV} Potencia: 10 m

- *Sedimentos eluviales (el); se desarrollan en forma de banda estrecha en el sector comprendido entre Majayara y Boma Dos sobre las rocas calcáreas.*

Edad: Q_{IV} Potencia: 2 m

En las zonas cercanas a la desembocadura de los ríos, todos estos tipos de sedimentos se interdigitan y mezclan presentando relaciones estratigráficas muy complejas que no permiten su clasificación genética (fig 3).

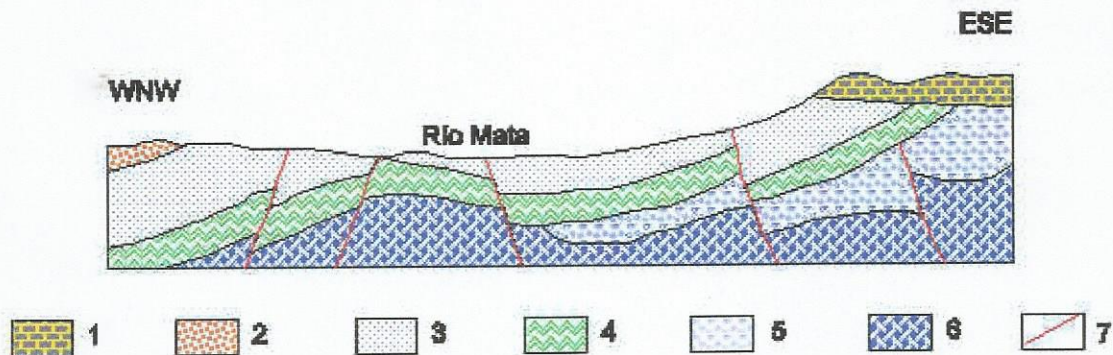


Fig 3.- Perfil geológico esquemático de la zona de los trabajos en su extremo suroriental mostrando las litologías predominantes en la zona y sus características estructurales.

1.- Formación Cabo Cruz; 2.- Formación Cabacú; 3.- Formación Capiro; 4.- Formación Castillo de los Indios; 5.- Sustrato (brechas de la Formación La Picota); 6.- Sustrato (rocas de la asociación ofiolítica); 7.- Fallas.

I.2.2.- Análisis estructural.

La zona de Bahía de Mata se encuentra ubicada en el Megabloque de las Sierras de Moa-Baracoa que es una región de gran complejidad tectónica debido a la variedad de ambientes geotectónicos en que se desarrollaron los distintos tipos de litologías existentes, aunque por la ubicación cronoestratigráfica de las secuencias presentes la zona de estudio, en particular, es relativamente sencilla constituyendo una depresión superpuesta a esta enorme estructura.

Desde este punto de vista la zona presenta características contrastantes en dependencia del piso estructural correspondiente. Es posible distinguir 3 pisos estructurales bien diferenciados:

- *Piso estructural Eoceno medio: (Formación Castillo de los Indios).*
- *Piso estructural del Eoceno superior – Mioceno inferior: (Formaciones Capiro y Cabacú).*
- *Piso estructural Mioceno superior - Cuaternario: (Formaciones Cabo Cruz, Maya, Jaimanitas y los sedimentos no consolidados).*

I.- Piso estructural Eoceno medio.

Está caracterizado por una tectónica disyuntiva bastante intensa que le proporciona a las rocas un aspecto de pequeños bloques debido a la disyunción cúbica. Los contactos de las rocas integrantes con las adyacentes en ocasiones son tectónicos y ligeramente discordantes con las secuencias sobreyacentes.

Las rocas de la Formación Castillo de los Indios están algo plegadas con ángulos de buzamiento al NW predominantemente con valores entre 10 ° y 20 °

II.- Piso estructural del Eoceno superior – Mioceno inferior.

Las rocas que integran este piso constituyen una secuencia esencialmente clástica a base de aleurolitas, lutitas, areniscas, gravelitas y conglomerados polimícticos en su parte superior. Se encuentra afectado por algunas fallas con direcciones al NE y NW.

Los elementos de yacencia de las secuencias de este piso tienen una gran variabilidad en la dirección de los ángulos de buzamiento, lo cual puede deberse al carácter friable de estas rocas lo que las hace poco resistentes a la acción de los esfuerzos tectónicos.

III.- Piso estructural del Mioceno superior – Cuaternario.

Las litologías integrantes de este piso estructural se caracterizan por tener un alto grado de carsificación respondiendo a su carácter carbonatado y a la yacencia y estructura de las mismas.

Por la yacencia masiva de las rocas sólo se pudieron medir unos pocos elementos de las mismas, observándose valores del buzamiento entre 10° y 15° dentro de las formaciones Maya y Cabo Cruz con direcciones variables al NE y NW fundamentalmente.

En la zona del Polo Turístico de Bahía de Mata fue posible medir unos pocos elementos de yacencia de las diferentes unidades estratigráficas pudiéndose establecer que como regla los buzamientos no exceden los 20° , con un valor promedio de unos 10°, mostrando acimutes variables para los mismos lo cual es indicador de un ligero plegamiento de las litologías integrantes (Anexo 5).

En el cuadro tectónico obtenido como resultado del procesamiento e interpretación del relieve, las fotos aéreas y cósmicas, el estudio y reinterpretación de los materiales precedentes y los trabajos de campo se observa claramente la existencia de un conjunto de rupturas que se pueden jerarquizar considerando factores tales como su edad, el grado de afectación que provoca dentro del dominio geológico considerado y en dependencia de la longitud de la traza en la superficie, es decir las de 1^{er} Orden son las más largas y las de 3^{er} Orden las más pequeñas.

De esta manera se pudo establecer la existencia de 4 órdenes de estructuras disyuntivas fallas (Anexo 5).

Como resultado de este análisis estructural integral el área quedó dividida por dos fallas de 1^{er} Orden: F-I y F-III, cuatro de 2^{do} Orden: F-II, F-IV, F-V y F-VI, tres de 3^{er} Orden: F-VII, F-VIII y F-IX, y un cuarto orden constituido por grietas; también aparecen las fallas tomadas del Mapa Geológico 1: 250 000. Las estructuras presentes se pueden agrupar en tres sistemas principales: el más representativo con dirección SO-NE, en segundo lugar uno con dirección E-O y por último uno SE-NO, representado fundamentalmente por grietas.

Por su incidencia en el esquema tectónico, serán descritas las siguientes:

Falla I: Presumiblemente es una de las más antiguas del área, con dirección SO-ENE. Está afectada por la F-II, provocándole un desplazamiento apreciable. Su presencia está asociada a la Bahía de Boma, por lo que probablemente ha provocado junto a otros procesos su desarrollo.

Falla II: Se extiende de E-O, paralela a la costa, apareciendo en varias zonas y desplazada por otras fallas más jóvenes, en el extremo NO del área su dirección es NNO-SSE.

Falla III: Se localiza en la zona central del área, con dirección SSO-NNE. En su extremo norte se intercepta con otras estructuras, localizándose en ese nudo tectónico la Bahía de Mata, por lo que probablemente junto a otros procesos, ha provocado su desarrollo.

Desde el punto de vista de la distribución de la densidad del agrietamiento, la zona de trabajo presenta sectores bien diferenciados ya que las grietas como norma aparecen con una baja densidad relativa en una banda estrecha coincidiendo con la zona de afloramiento de las calizas de Jaimanitas y en las áreas de desarrollo de los sedimentos aluviales y en otros pequeños sectores en forma de parches.

Los máximos valores coinciden con las rocas más antiguas y en algunos lugares dentro de la Formación Maya coincidiendo con las zonas de gran intensidad de la carsificación.

I.2.3.- Evolución geológica.

Esquemáticamente se establece el conjunto de procesos que han afectado a la depresión de Mata sobre la cual se encuentra ubicada la zona de desarrollo del Polo.

Es posible establecer 3 periodos de la actividad geólogo – tectónica:

- De las formaciones subyacentes de la depresión.*
- De las formaciones de la secuencia paleogénica.*
- De las formaciones transgresivas.*

Las formaciones subyacentes a la depresión de Mata afloran alrededor de ésta y están representadas por ultramafitas serpentinizadas y por los conglomerados – brechas de la Formación La Picota.

Las formaciones de la secuencia paleogénica forman un ciclo que comienza con una sedimentación de piroclastitas ácidas y concluye con una sedimentación terrígena fluvio-marina. Este ciclo está representado por las unidades estratigráficas Castillo de los

Indios, Capiro y Cabacú. Aflora en toda el área de trabajo.

Las formaciones que cubren la depresión se exponen hacia el norte y sureste de la zona de trabajo (Cabo Cruz, Maya y Jaimanitas) yaciendo sucesivamente y de forma discordante sobre las formaciones más antiguas.

El desarrollo estructural del subyacente (primer período) se relaciona con el momento de la actividad de la tectónica de sobrepujes que caracteriza al Cretácico y parte del Paleógeno de Cuba oriental.

El régimen tectono – sedimentario de las formaciones paleogénicas fue muy complejo lo cual se evidencia por la discordancia existente entre las formaciones Capiro y Cabacú.

La gran trasgresión del Mioceno da lugar a las formaciones correspondientes al tercer período. Desde el Mioceno en lo adelante se inicia el período de estabilización de la actividad tectónica.

Las secuencias friables del Cuaternario están indicadas además por una amplia variedad de sedimentos no consolidados de diferentes tipos genéticos con predominio de los aluviales y eluvio – deluviales.

En la actualidad la zona parece encontrarse en proceso de levantamiento.

I.2.4.- Geomorfología.

El área de estudio desde el punto de vista geomorfológico se encuentra dentro de la macrorregión oriental, perteneciendo dentro de esta a la región de las alturas de Baracoa. La zona de desarrollo del Polo Turístico de Bahía de Mata presenta una geomorfología muy contrastante para diversos sectores en un área relativamente pequeña debido a la amplia variedad de formas del relieve existente. En sentido general como se explicó en el epígrafe I.1.2, se pueden establecer dos sectores bien diferenciados en la geomorfología regional para toda el área.

Esta diferenciación geomorfológica existente es el resultado de dos factores concurrentes: la litología y la tectónica. La zona de terrazas y mesetas se desarrolla sobre el complejo carbonatado de las formaciones Jaimanitas, Maya y Cabo Cruz; en tanto que la segunda zona esta relacionada con las rocas de los complejos sedimentario y vulcanógeno – sedimentario. En el mapa del relieve sombreado (Anexo 1) se pueden ver con claridad las relaciones establecidas.

La zona costera se caracteriza por presentar sectores de playas con arenas de diferentes orígenes entre sectores de costas escarpadas con formación de nichos y cornisas y un amplio desarrollo del diente de perro y las rocas acarriadas. Las arenas de las playas son el resultado de la destrucción de los arrecifes coralinos y del material acarreado por los cursos fluviales, manifestándose uno u otro tipo de forma predominante en dependencia de su desarrollo cerca de las desembocaduras de los ríos.

Los valles fluviales tienen importancia local sobre todo por los importantes espesores de sedimentos que acumulan. Los más desarrollados son del río Mata en la parte central y el del río Boma hacia el occidente.

La zonación geomorfológica del área (Anexo 4), permitió establecer 6 zonas geomorfológicas en dependencia de los parámetros morfométricos y los elementos morfológicos distintivos. Los estadígrafos correspondientes a cada zona pueden observarse en la tabla que acompaña al anexo citado. La caracterización cualitativa de cada una de estas zonas considerando las diferencias relativas de una a otra, se ofrece a continuación:

Zona geomorfológica A.- Litológicamente está constituida por las rocas de las formaciones Capiro y Cabacú. Limita al Norte con las zonas D y C y al Este con otro sector de esta misma zona y con la E. Los valores más altos de cota máxima 128.77 m. Presenta valores medios bastante bajos de disección vertical comparada con las otras zonas. Los valores medios de pendiente de disección están dentro de la media general. La densidad de agrietamiento es relativamente alta. En esta zona no hay posibilidades de manifestación del carso por sus características litológicas. La disección horizontal es bastante elevada aunque por debajo de otras zonas. Por su posición hipsométrica corresponde a una zona de erosión.

Zona geomorfológica B.- Las rocas que aparecen en esta zona pertenecen en su totalidad a la Formación Cabo Cruz. Ocupa toda la parte suroriental de la región estudiada, formando un triángulo. Limita al Norte con la Zona C y al Oeste con la Zona E aunque algunos sectores de esta última se encuentran dentro de ella. Los valores de la densidad de agrietamiento son relativamente bajos en comparación con el resto de las zonas. La disección vertical es baja. Los valores más altos de cota máxima son 328 m. El carso tiene altas probabilidades de manifestación sobre toda la zona tanto para el carso superficial como para el subterráneo. La densidad de la red fluvial es muy baja.

Zona geomorfológica C.- Está representada totalmente por las rocas carbonatadas de la Formación Maya. Se expresa en forma de una banda de ancho variable en la parte septentrional con dirección NW – NE por lo que forma una especie de arco cóncavo hacia el Norte. Hacia su parte occidental y central forma una meseta interrumpida por el cauce del río Boma y al Sur con las Zonas A, D E y B. Presenta valores de cota máxima de 254.18 m, así valores altos de disección vertical. La Zona C es denudativa lo cual indica un fuerte predominio de los procesos erosivos sobre los acumulativos. La densidad de la red fluvial es baja. La densidad de agrietamiento es elevada. Existe una alta manifestación del carso superficial y una alta probabilidad del carso subterráneo.

Zona geomorfológica D.- Está representada fundamentalmente por los depósitos aluviales de las cuencas de los ríos Boma y Mata y en menor medida por los palustres y costeros alrededor de las dos bahías existentes en la zona. Contacta con todas las zonas geomorfológicas, excepto con la zona B. Presenta valores bastante bajos de cota máxima con un valor medio de 7.15 m y valores muy altos de disección horizontal. Es muy baja el valor medio de la pendiente. La zona no es factible para el desarrollo del carso aunque por su carácter de depósito friable puede recubrir sectores con amplio desarrollo de este fenómeno. Es interesante el hecho de que manifiesta una densidad de fractura relativamente elevada dentro del contexto general lo cual expresa con certeza las características del sustrato y no de la secuencia sedimentaria.

Zona geomorfológica E.- La zona está representada en su casi totalidad por las rocas de las Formaciones Castillo de los Indios, Capiro, Cabacú y en menor medida por las de la Formación Cabo cruz. Se expresa fundamentalmente en la parte sur y central del área de trabajo. Contacta con todas las zonas geomorfológicas presentes. Para la misma es característico en primer lugar el hecho de que presenta los más altos valores de cota máxima alcanzando los 457.34 m que es el mayor de toda el área, así mismo y como consecuencia de lo anterior presenta también valores muy altos de disección vertical y horizontal al igual que para la pendiente de disección. No existen posibilidades de manifestación del carso excepto en el sector comprendido dentro de la Formación Cabo Cruz, donde se presentan las mismas características que para la zona B.

Zona geomorfológica F.- Está constituida litológicamente por las calizas de la Formación Jaimanitas y en menor medida ocupa pequeños sectores de las mesetas de la Formación

Maya. Aparece en forma de banda de ancho bastante constante a lo largo de toda la costa. Sobre ella aparecen algunos sectores pequeños de la zona A. La cota media es de 42 m. La disección vertical es baja en tanto que la disección horizontal es extremadamente alta en relación al resto de las zonas geomorfológicas. La manifestación del carso es muy alta en lo referido al de tipo superficial el cual aparece formando diente de perro y rocas acarriladas fundamentalmente.

1.2.5.- Hidrogeología de la región.

Uno de los aspectos menos estudiados en la zona de Bahía de Mata es su Hidrogeología. Durante los trabajos de campo y de forma superficial, sobre todo hacia la parte Norte, pudieron realizarse algunas observaciones que evidencian que las condiciones hidrogeológicas son bastante complejas. El abastecimiento a la población se realiza casi de forma generalizada a través de cisternas para almacenar el agua proveniente de las precipitaciones y cuando estas se hacen críticas a través de pipas, lo cual evidencia las dificultades existentes para el abasto a través de pozos. No existen tampoco manantiales. En este sector el único pozo existente se encuentra en la costa occidental de la Bahía de Boma a unos 3 m de la misma, presentando un alto grado de contaminación dada las condiciones higiénicas del lugar y el uso de la población.

Los pocos datos recopilados indican que los sedimentos del Mioceno que están desarrollados al este de la Ciudad de Baracoa, están representados por calizas cársticas de distinto origen con una potencia variable entre los 50 – 60 m. Tras el alto grado de carsificación y una alta capacidad de drenaje, las precipitaciones alcanzan muy rápido el espejo de las aguas subterráneas o escurren al mar. Algunos datos separados evidencian el hecho de que la capa de las aguas dulces, que yacen sobre las aguas saladas es muy pequeña, no sobrepasa 2 – 3 m. La mineralización de las aguas subterráneas dentro de la capa dulce es menor de 1 g/l. La composición de las aguas es hidrocarbonatada - cálcico – magnésica.

Las secuencias del Eoceno en el área están representadas por la Formación Castillo de los Indios del Complejo vulcanógeno-sedimentario.

Las tobas ácidas de la Formación Castillo de los Indios, perteneciente al Complejo vulcanógeno - sedimentario en el intervalo correspondiente al Eoceno inferior a medio, constituyen un acuífero de aguas fisurales con gastos entre 0.1 – 1.0 l/seg.

Las calizas arrecifales de la Formación Maya (CC) en los alrededores de Maisí donde tienen características similares a las de la zona de Mata contienen aguas de poros con gastos de 1.0 – 5.0 l/seg.

Los sedimentos friables del cuaternario (CDF) no han podido ser caracterizados al no existir datos sobre sus características hidrogeológicas.

Estos datos orientativos fueron tomados del trabajo " Características generales de las principales cuencas hidrográficas de la Provincia Guantánamo, realizado en el INRH de Guantánamo y el Esquema Regional Precisado del INRH (1985).

I.2.6.- Procesos y fenómenos físico – geológicos.

La región del Polo de Bahía de Mata es favorable para el desarrollo intenso de algunos fenómenos físico-geológicos como el carso, la erosión y los deslizamientos; el empantanamiento tiene cierta importancia en pequeños sectores al igual que la meteorización en su parte septentrional.

El carso en la región de desarrollo del Polo Turístico tiene una gran importancia por el amplio volumen y extensa distribución superficial de las rocas carbonatadas. Como se puede observar en el Anexo 3, el complejo carbonatado está ampliamente distribuido en la zona de trabajo, por lo que se cumple la premisa fundamental para el desarrollo del carso.

En el Mapa de pronóstico del carso (Anexo 3), se puede observar que la mayor probabilidad de existencia del carso se produce en una banda que ocupa toda la parte norte de la zona de trabajo y en el extremo suroriental de la misma, distinguiéndose sectores en los cuales se aprecia una máxima probabilidad ya que en los mismos influye no sólo el tipo de litología si no además factores de tanta importancia como la densidad de la fracturación, lo cual puede apreciarse en el Mapa de densidad de fracturas evaluado (Anexo 14), en el que se observa que en aquellos sectores de desarrollo de rocas carbonatadas con densidad de fracturas elevada, la probabilidad de existencia del carso es alta.

Toda la zona donde aparece el Complejo Carbonatado es susceptible de desarrollo del carso superficial, el cual se manifiesta fundamentalmente en forma de diente de perro y rocas acarriladas. Este fenómeno es particularmente intenso sobre las calizas costeras de la formación Jaimanitas en todas sus áreas de exposición. Es también importante en el caso de esta unidad la existencia de grandes grietas ensanchadas por las aguas meteóricas y que constituyen vías de drenaje de las aguas pluviales hacia el mar (foto 9).



Foto 9.- Grieta ensanchada por la disolución en rocas de la Formación Jaimanitas.

Observe el estado crítico del puente de madera ubicado sobre ella.

X: 754160; Y:185340

Para el carso subterráneo los mayores valores de probabilidad se alcanzan en el frente de las terrazas de la Formación Maya, donde se observan pequeñas galerías horizontales y cavernas incipientes que se intercomunican entre sí y que sin dudas hacia el interior de la secuencia pudieran ensancharse produciendo formas mayores. Este es un fenómeno que deberá ser estudiado con detenimiento.

El resto de la zona de los trabajos es descartable para la ocurrencia de este fenómeno debido a la no existencia en la misma de las condiciones básicas necesarias.

La erosión fluvial es un proceso poco activo en las zonas relacionadas con los ríos más caudalosos Mata y Boma donde se observan dos valles fluviales de relativa importancia

con espesores sedimentarios altos lo cual indica el carácter predominante del proceso de acumulación sobre el de destrucción.

El proceso de abrasión marina se expresa fuertemente en las costas escarpadas, siendo característica de las partes exteriores de entradas a las bahías y al este de ambas. Los mejores ejemplos de este fenómeno se expresan en la Bahía de Boma donde existen magníficos acantilados y cornisas (foto 10).



Foto 10.- Entrada de la Bahía de Boma.

Observe el carácter escarpado de la costa

Las rocas carbonatadas de las formaciones Maya y Cabo Cruz poseen pendientes muy altas en los frentes de terrazas y mesetas lo que unido al alto grado de carsificación que presentan las hace muy susceptibles a la ocurrencia de movimientos de masas rocosas. Prácticamente a todo lo largo de los sectores mencionados se observan bloques de algunas decenas de m³ de volumen desprendidos de las partes más elevadas. De las rocas no carbonatadas las más importantes en el polo propiamente dicho, por su área de afloramiento, son los conglomerados de la Formación Cabacú, no observándose en los cortes bastante verticales existentes en la carretera evidencias de tendencias a deslizarse, por lo que puede asegurarse que estas son bastante estables. En el Anexo 16, pueden

observarse con facilidad las zonas indicadoras de terrazas y las porciones más elevadas donde puede producirse el fenómeno de deslizamiento.

El empantanamiento está relacionado con las costas bajas existentes cerca de las Bahías y sobre todo en los sectores de interrelación de la sedimentación fluvio – marina. El área de empantanamiento más importante se observa en la zona interior del estero de la Bahía de Boma y el río del mismo nombre.

El proceso de meteorización tiene relativa importancia en la parte Norte de la zona donde aparecen suelos ferralíticos rojos desarrollados sobre rocas carbonatadas (terrerosas) que son excelentes para los cultivos agrícolas. La región donde se observa mejor este tipo de suelo ocupa una banda estrecha desde el Este de Majayara hasta Boma Dos.

En algunos sectores se observan procesos incipientes de acarreamiento siendo el más importante el que se ubica a unos 200 m al sur de Playa Cajuajo.

I.2.7.- Análisis de los complejos litológicos.

Como se estableció en el epígrafe correspondiente a la estratigrafía la zona estudiada está constituida por 6 unidades estratigráficas y varios tipos genéticos de depósitos friables (no consolidados) que guardan relaciones muy complicadas.

Considerando lo anterior se decidió introducir en el trabajo, con el fin de simplificar el cuadro geológico – tectónico el concepto de **Complejo litológico**, como aquel conjunto de formaciones de similar composición litológica, aunque diferentes por su posición estratigráfica (edad) y sus características estructurales. Este concepto permite generalizar la información inherente a cada complejo independientemente de que se particulariza en las propiedades físico- mecánicas de cada tipo específico de roca que pertenece al mismo.

Complejo litológico	Formaciones o grupos de rocas integrantes
<i>Vulcanógeno – sedimentario (CVS)</i>	<i>Castillo de los Indios</i>
<i>Carbonatado (CC)</i>	<i>Jaimanitas, Maya, Cabo Cruz</i>
<i>Terrígeno (CT)</i>	<i>Capiro, Cabacú</i>
<i>Depósitos friables (CDF)</i>	<i>Marinos, palustres, aluviales, eluviales.</i>

Tabla 1.- Complejos litológicos y formaciones integrantes.

Complejo vulcanógeno – sedimentario (CVS).- las secuencias integrantes de este complejo corresponden al momento de la actividad volcánica paleogénica en Cuba oriental. Está formado fundamentalmente por tobas ácidas alteradas y tufitas y tobas calcáreas.

Complejo carbonatado (CC).- el complejo carbonatado, en sentido estricto tiene una amplia distribución superficial en la zona de trabajo. Está desarrollado en una banda ancha paralela a la costa donde se representa por calizas órgano – detríticas y arrecifales con un alto grado de carsificación en la superficie aunque subordinadamente aparecen gravelitas y otras rocas.

Complejo terrígeno (CT).- está integrado por una amplia gama de litologías que van desde las areniscas polimícticas, calcarenitas, arcillas, margas y lutitas, siendo particularmente importantes por su amplia distribución superficial los conglomerados polimícticos de la Formación Cabacú.

Complejo de los depósitos friables.- se encuentra distribuido por toda el área en dependencia del tipo genético de que se trate. Las arenas se ubican fundamentalmente en la costa y en los lugares de acumulación de los ríos principales; los limos y arcillas aparecen en los pantanos que se desarrollan sobre todo en manglares cercanos a la costa; los materiales clásticos gruesos (gravas y guijarros) son propios de las costas escarpadas y los cauces de los ríos.

I.2.8.- Propiedades físico – mecánicas.

Para valorar el comportamiento de los complejos litológicos y rocas presentes en el sector estudiado en la zona de Bahía de Mata se ha trabajado con la información de partida obtenida de los estudios regionales realizados con anterioridad y sobre todo en el informe de la Brigada Cubano – Húngara (1981) y el Esquema Regional precisado a escala 1:250 000 de las provincias orientales del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (Colectivo de autores 1985).

COMPLEJO LITOLÓGICO	FORMACIÓN	LITOLOGÍA	Gs g/cm ³	γ_f	γ_d	n (%)	Rc axial (Kg/cm ²)	
				g/cm ³			Natural	Saturada
CC	Jaimanitas	Calizas detríticas coralinas	2.69	2.04	2.09	13	114	67.35
CC	Maya	Calizas duras carsificadas	2.73	2.25	-	17-58	262	127
CC	Cabo Cruz	Calizas organodetríticas carsificadas	-	2.63	-	4.7	346	-
CT	Capiro	Lutitas	2.74-2.77	1.79	-	16	8.5-200	-
		Areniscas calcáreas	2.73	-	-	11.7	236	126
CT	Cabacú	Conglomerado polimícticos	2.66	2.25	-	15.4	77	59
CVS	Castillo de los Indios	Tobas ácidas	2.25-2.28	1.95	-	27	265	154

Tabla 2.- Propiedades físico – mecánicas de las litologías constituyentes de los diferentes Complejos Litológicos y formaciones.

Es necesario indicar que la zona al igual que casi todo el territorio oriental ha sido muy poco estudiada por lo que los datos de archivo no son lo suficientemente amplios para ofrecer una valoración detallada. Ha sido necesario establecer analogías con otros sectores ya estudiados con los mismos fines.

El complejo de los depósitos friables está representado fundamentalmente por arenas de origen marino en la zona costera y arenas y gravas de origen fluvial y subordinadamente por materiales finos de origen pantanoso. No tienen interés desde el punto de vista constructivo y por otra parte no existe información sobre sus propiedades físico – mecánicas.

El complejo carbonatado en la zona correspondiente al desarrollo del polo es el de mayor importancia, encontrándose representado aquí por las calizas organodetríticas y por las calizas organógenas que se disponen a lo largo de la costa respectivamente. En general son rocas densas y pesadas, relativamente porosas.

El complejo vulcanógeno - sedimentario en la zona de Mata se encuentra formado por las tobas ácidas de la Formación Castillo de los Indios, las que son más ricas en material carbonatado en comparación con otros sectores estudiados con anterioridad para el desarrollo turístico en la costa norte oriental.

1.2.9.- Pronóstico de las posibles zonas de inundación.

Los fenómenos de inundación constituyen un reto para la ejecución de objetos de obras en zonas bajas de la costa norte de la región oriental. La existencia de la red de drenaje y la ocurrencia de grandes volúmenes de precipitaciones hace imprescindible un estudio hidrológico del sector con un nivel de confiabilidad que permita orientar las investigaciones subsiguientes y servir de ayuda al inversionista en la posible ubicación de los objetos de obra de forma tal que se logre paliar en la mayor medida posible los riesgos que se producen por la construcción en estas zonas.

Dadas las características de la red en la zona que en su mayor parte no es permanente y de las cuencas existentes se valoró la del río Mata por ser la más importante superficialmente y los volúmenes de agua que escurre y la que puede traer peores consecuencias sobre las edificaciones propuestas en el Plan Director. Fue necesario definir el trazado de la cuenca a partir del modelo digital del terreno y la red de drenaje 1:250 000 del CITEC, aunque la diferencia de escalas entre el estudio regional es considerable, creemos necesario incluirlo en el análisis definiendo que el error cometido está en el orden 10 veces mayor que la escala de los restantes materiales procesados.

Para la ejecución de los cálculos se confeccionó la curva Escala- Gastos, para los cierres pronosticados en las desembocaduras de los ríos considerados. Esto se hizo utilizando la fórmula [1].

$$Q=V*A \quad [1]$$

Donde:

Q es el gasto

A es el área de la sección transversal.

V es la velocidad del fluido.

La velocidad del fluido V fue determinada empleando la fórmula de Chezy [2].

$$V=(1/N) *R^{(1/6)} * (R * Yr)^{0.5} \quad [2]$$

Donde:

N es el coeficiente de rugosidad del cauce; en este caso se tomó N=0.140

Yr es la pendiente del cauce según el perfil longitudinal en la vecindad del cierre.

R es el radio hidráulico.

$$R=A/PM \quad [3]$$

Donde:

A es el área de la sección transversal para cada cota evaluada.

PM es el perímetro mojado.

El área se obtiene por el método de los trapecios.

Los caudales de avenida se calcularon por una fórmula empírica establecida para las cuencas en las zonas Mayarí- Sagua - Baracoa [4] para una probabilidad del 1 %.

$$Q1\%=q1 * Ac \quad [4]$$

Debe tenerse en cuenta que la probabilidad del 1 % está referida a eventos atmosféricos (ciclones y tormentas tropicales) que se producen con una periodicidad de 100 años. En estos casos puede ocurrir la conjugación de las avenidas del río en la cuenca considerada con la elevación del nivel del mar y que puede contribuir a elevar la cota de inundación. Este efecto debe ser considerado para investigaciones futuras.

Donde:

Q1% gasto para el 1%.

Ac Área de la cuenca obtenida por el método de los trapecios.

$$q1=52.25/(Ac+1)^{0.315} \quad [5]$$

En las Figuras que acompañan al Mapa de pronóstico de inundaciones (Anexo 20) se muestra el perfil transversal en el cierre propuesto y la curva Gasto - Altura así como los principales resultados obtenidos y el sistema utilizado para los cálculos y los parámetros que se utilizaron, tales como pendiente, cota inicial, cota final, coeficiente de rugosidad del cauce y área de la cuenca entre otros.

Como se puede observar en el Mapa de pronóstico de inundaciones para un evento extremo, con una probabilidad del 1 %, el área de inundación es relativamente pequeña en relación con la superficie total de la cuenca, resultando en principio sólo afectado el Club hípico que aparece en el plan director preliminar y dos asentamientos poblacionales existentes en la actualidad (Güirito y parte de Mata).

1.3.- Algunas características ambientales del área de desarrollo del polo.

La zona de desarrollo del polo turístico de Bahía de Mata constituye un ecosistema bastante frágil debido a la existencia de una serie de especies vegetales y animales autóctonas que son susceptibles de ponerse en riesgo por la actividad antropogénica. La vegetación costera se ve afectada por la explotación no planificada en las playas para la obtención de madera con distintos fines, lo que a la vez dificulta la vitalidad de la flora y la fauna. Hacia el interior, donde existen bosques importantes, la actividad agrícola conspira contra los mismos.

La zona posee, como se ha explicado, características hidrogeológicas muy complejas por los gastos que se obtienen para el abasto a la población, por lo que se hace necesario la construcción de acueductos artesanales no planificados que afectan el entorno.

La dinámica costera en la zona da lugar a la existencia de playas con arenas bastante gruesas y abundantes, excepto en algunos lugares como es en Playa Cajuajo. El régimen de las mareas es muy contrastante con pleamares muy altas en contraste con la bajamar que posee valores muy pequeños de altura dejando al descubierto el fondo hasta distancias de unos 100 – 120 m del límite costero.

La zona concebida por el plan director para la construcción de las obras del polo se expresa en un sector muy cercano a la línea de costa donde existe la máxima debilidad del medio dada la escasa vegetación, pobre red fluvial e intenso desarrollo del carso. Es

necesario en lo posible alejar al máximo las obras previstas para mitigar el impacto que inevitablemente las mismas producen.

Un elemento que deberá tenerse en cuenta con mucho cuidado radica en que al tratarse de una zona con amplio desarrollo del carso se produce una comunicación directa entre las aguas de escorrentía y las aguas del mar; ello por supuesto es válido para aguas estancadas por lo que la planificación de la eliminación de residuales deberá ser un elemento a tener muy en cuenta durante la proyección del plan director definitivo.

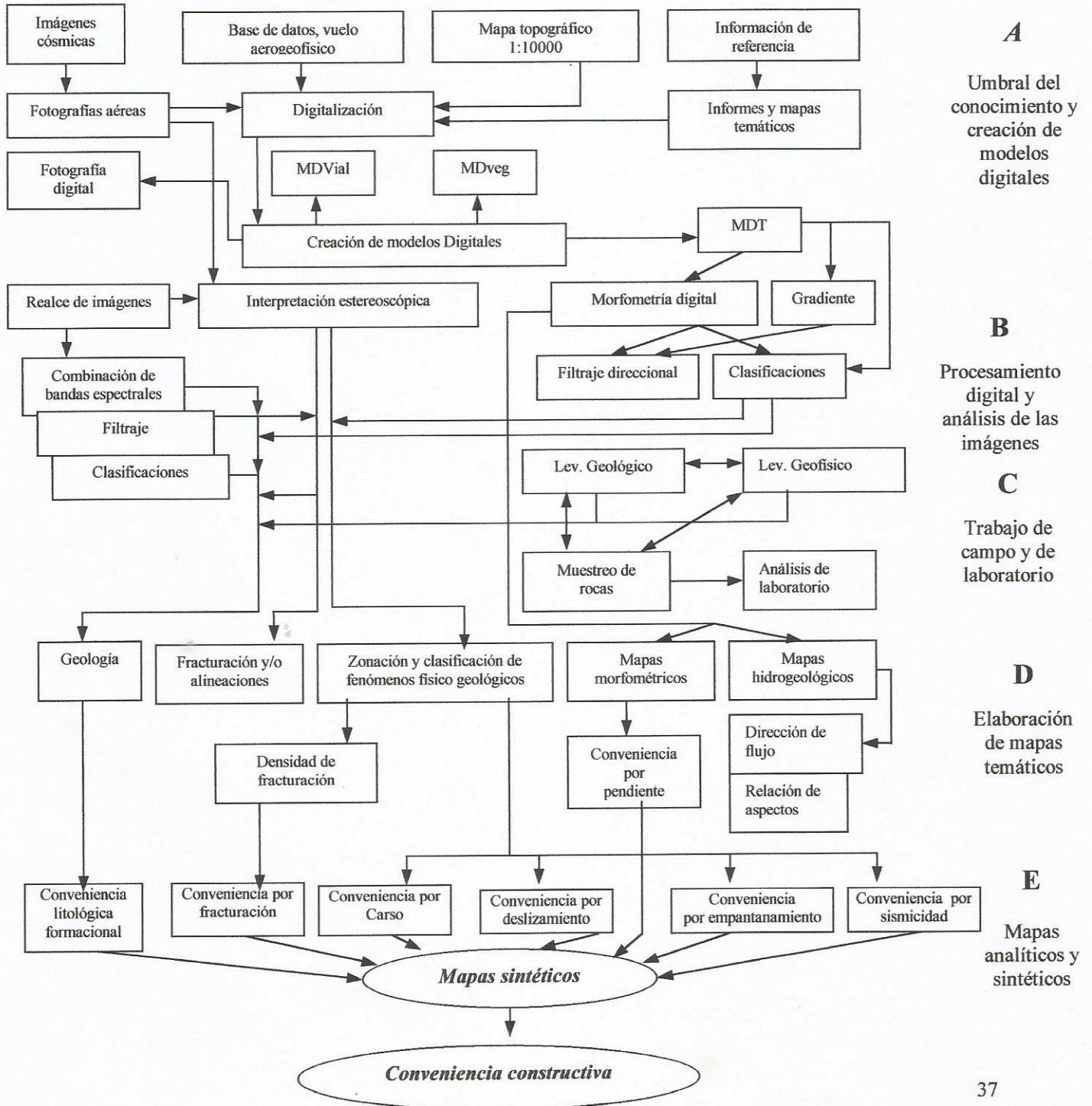
Las de terrazas costeras con abundancia de especies animales, de magníficas condiciones paisajísticas para la construcción de miradores y otras obras turísticas, deberán ser preservadas evitando las zonas de desarrollo de formas cárnicas subterráneas y superficiales que constituyen verdaderos lugares de existencia de diferentes especies entre las que destacan el majá y el murciélago. Más hacia el sur en la zona de la meseta, fue posible observar varios ejemplares de colibríes (zunzunes), los cuales deben ser tratados con especial cuidado tratando de no dañar su hábitat.

CAPITULO II.- METODOLOGIA Y VOLUMEN DE LAS INVESTIGACIONES.

II.1.- Metodología de los trabajos

Para el estudio Ingeniero Geológico Regional del Polo Turístico de Bahía de Mata se aplicó la metodología de investigación que aparece en el Diagrama II.1.

Diagrama II.1.-Metodología de los trabajos



La primera etapa del trabajo consistió en la recopilación de la información geológica, geomorfológica, geofísica, etc. de interés para la zona de trabajo. Todo esto fue obtenido en: informes, gráficos, mapas, fotos aéreas y cósmicas los cuales fueron analizados y algunos convertidos en formato digital para poder interactuar de forma multidisciplinaria, con criterios de expertos y lograr la optimización de los trabajos.

La segunda etapa estuvo dirigida a un conjunto de trabajos de preparación de modelos digitales temáticos, la digitalización de la información topográfica y la confección del modelo digital del terreno (M D T), lo cual reviste gran importancia no sólo de alcance en este estudio sino en los futuros trabajos en la zona, donde la precisión requerida sea la suficiente para el mapa topográfico escala 1:10 000, a partir de este se generó un conjunto de coberturas dirigidas tanto a los análisis morfométricos como geomorfológicos y geológicos los cuales contribuyen con gran peso a la caracterización ingeniero - geológica.

Los análisis por teledetección, procesamiento de imágenes, fotointerpretación, análisis morfométricos y geomorfológicos, unidos a métodos de clasificaciones, estudio por componentes principales y análisis multivariado permitieron obtener los resultados alcanzados y crear una primera variante la cual fue comprobada y modificada con los trabajos de campo y reinterpretación.

En esta misma etapa, con los resultados alcanzados hasta el momento y trabajos de reconocimiento preliminar de la zona de estudio, se realizó una sistematización de la información a recopilar durante los trabajos de campo, lo cual trajo como consecuencia poder alcanzar un volumen suficiente de información sobre los elementos más importantes dentro del estudio realizado de forma tal que se unificaran criterios de descripción, lo cual repercute en una mayor facilidad para la automatización y empleo de técnicas numéricas en las labores de interpretación y análisis.

La tercera etapa se desarrolló en el terreno, aunque previamente se realizaron recorridos paralelos a los trabajos preparatorios con el objetivo de aplicar en estudios posteriores un complejo de métodos geofísicos destinados a obtener los espesores de suelos existentes sobre los diferentes tipos de rocas y realizar un muestreo preliminar para la determinación de las propiedades físico - mecánicas principales.

En el levantamiento de campo se hizo énfasis en la interpretación de los principales resultados de las etapas previas, en lo referente a definir los contactos y carácter entre los diferentes tipos litológicos, realizar observaciones geomorfológicas, estructurales, hidrogeológicas y de las características de la carsificación y otros fenómenos físico - geológicos. El control de los puntos con sistema de posicionamiento global (GPS) unido a las tomas fotográficas con una cámara digital -EPSON photo PC 750Z- de los lugares más importantes, repercute en una mayor calidad y precisión de los resultados obtenidos.



Fig 4.- Equipo GPS – Garmin 12 XL – utilizado durante los trabajos de campo

La cuarta etapa consistió en los trabajos de gabinete y obtención de los resultados finales. Los resultados de los procesamientos automatizados con los criterios de expertos unidos a los resultados del levantamiento directo posibilitaron realizar la caracterización ingeniero - geológica y establecer sus rasgos más importantes.

II.1.1- Teledetección y fotointerpretación.

Los trabajos de teledetección fueron encaminados al estudio y definición de los rasgos estructurales, su interrelación con las zonas vecinas y la definición de los contactos entre las distintas litologías. Se utilizaron imágenes aéreas del vuelo ICGC 1971- K10 con una escala aproximada 1:37 000. Se digitalizaron 9 fotos en tonos de gris con una resolución de 300 dpi, las que fueron georeferidas con el sistema Autocad Map 2000 y empalmadas en un mosaico del área de los trabajos, la imagen resultante fue reescalada a pixel de 30 x 30

metros logrando una calidad informativa aceptable para la detección automatizada del agrietamiento; además se formaron seis pares estereoscópicos de forma automatizada utilizando el principio anaglifo para la interpretación estereoscópica de litologías y estructuras.

Detección automatizada del agrietamiento del mosaico fotográfico.

Se realizó, atendiendo a la forma en que aparecen las grietas en las imágenes aerocósmicas utilizando una secuencia de procesos que revelan con bastante exactitud su aparición en la región de estudio.

A la imagen original después de su mejoramiento radiométrico se le aplicó la siguiente secuencia:

- *Detector de bordes.*
- *Filtro pasa alta.*
- *Filtro de dilatación - erosión - diferencia.*
- *Suma de máximos de los bordes.*
- *Filtro fractal.*
- *Multiplicación de la suma de máximos y el valor fractal.*
- *Filtro direccional cada 15 grados.*
- *Suma de máximos del filtrado direccional y obtención de la fracturación total.*
- *Filtrado pasa alta para distintas aberturas y reescalado según la jerarquía del agrietamiento.*
- *Filtro direccional cada 15 grados.*
- *Umbralización según la jerarquía del agrietamiento.*
- *Filtro detector de bordes pre-esqueletización.*
- *Esqueletización de las imágenes umbralizadas.*
- *Georeferenciación.*
- *Vectorización.*
- *Determinación de los parámetros del agrietamiento (densidad de agrietamiento, rosa de direcciones, etc.)*

Se realizaron algunas clasificaciones por procesamiento de imágenes pudiendo definir límites entre las unidades estratigráficas que fueron precisados durante los trabajos de campo.

Interpretación de los fotoestereopares.

Mediante un procedimiento diseñado a tal efecto fueron creados seis fotoestereopares los cuales permiten obtener en una sola imagen la información del par estereoscópico, lo cual posibilita poder observar el terreno en tercera dimensión utilizando unos filtros especiales, ya que se basa en el principio anaglifo. Se utilizan las capas roja y verde de una imagen RGB para cada imagen del modelo y en azul es posible interpretar los rasgos geológicos descifrados. Se crearon dos capas informáticas una para la litología y contactos litológicos y otra para el agrietamiento; la secuencia seguida fue la siguiente:

- Formación de los foto-estereopares.*
- Interpretación experta en la capa azul de la imagen formada.*
- Separación de las capas informáticas.*
- Binarización y esqueletización de la capa interpretada.*
- Georeferencia.*
- Vectorización.*
- Determinación de los parámetros del agrietamiento (densidad de agrietamiento, rosa de direcciones, etc.)*

II.1.2.- Digitalización y obtención del modelo digital de terreno (MDT).

El área de los trabajos ocupa una superficie de 99 Km² distribuidos en 6 hojas cartográficas escala 1:10 000 que se relacionan en la Tabla # 3 dando fecha de edición y equidistancia vertical. Los mapas fueron confeccionados en el ICGC (actual GEOCUBA) por levantamiento estereotopográfico, en el Sistema de coordenadas Lambert Cuba Sur y Sistema de alturas Siboney.

El MDT se obtuvo a partir del mapa topográfico, en calidad de información inicial se utilizaron las líneas estructurales del terreno consistentes en la red de drenaje y partidores, los cuales se incorporaron junto con los datos de las curvas de nivel, digitalizadas con un paso de 10 metros aproximadamente, de toda el área encomendada.

<i>Hoja cartográfica</i>	<i>Año de edición</i>	<i>Equidistancia vertical en M</i>
5376-IV-a-6	1993	5
5376-IV-a-3	1993	5
5376-IV-b-4	1993	5
5376-IV-a-5	1993	5
5376-IV-a-2	1993	5
5376-IV-b-1	1993	5

Tabla 3. - Materiales cartográficos utilizados en los trabajos.

Forma de obtención del modelo digital.

Como método de modelación se utilizó el Krigging, el cual es un método geoestadístico que logra un correcto ajuste del modelo matemático a partir de los variogramas del sector estudiado; la generación se realiza punto a punto y en el análisis se tienen en cuenta en su vecindad los puntos del relieve y las líneas estructurales de este. Otro de los métodos empleados es el de las superficies móviles que ajusta cada punto a la ecuación general de los paraboloides con una función de ponderación en dependencia de los puntos muestras y los puntos a determinar, todo ello con técnicas de búsqueda y validación. El MDT se obtiene de esta forma, utilizando los modelos enunciados, como una regularización del mapa topográfico.

Proceso tecnológico.

Los Mapas fueron digitalizados con el sistema Autocad Map 2000, se obtuvieron de esta forma las curvas con un paso de 10 m aproximadamente y la red de drenaje y partidores los cuales fueron interpolados y añadidos a la información inicial.

Toda esta información se validó con los sistemas de control que analizan las características lógicas y propiedades de cada tipo de dato.

Luego se genera el MDT con el método descrito y se evalúa el dato inicial, de esta forma se corrigen los errores eliminando las discrepancias entre el mapa inicial y el generado a partir del MDT. La absoluta coincidencia entre las curvas digitalizadas y las generadas en el MDT, es la premisa fundamental para garantizar la calidad del modelo.

Características de la información obtenida.

El formato en que se deposita la información es del tipo Binario lo cual permite el acceso directo a cualquier punto, es del tipo (.GRD) Golden y presenta las siguientes características.

<i>Variable</i>	<i>Definición</i>	<i>Tamaño del campo en byte.</i>
DSBB	Código que identifica el tipo de fichero	4
<i>Nf</i>	Número de filas de la rejilla	2
<i>Nc</i>	Número de columnas de la rejilla	2
<i>Xmin</i>	Coordenada del extremo izquierdo de la rejilla	8
<i>Xmax</i>	Coordenada del extremo derecho de la rejilla.	8
<i>Ymin</i>	Coordenada del extremo inferior de la rejilla.	8
<i>Ymax</i>	Coordenada del extremo superior de la rejilla.	8
<i>Zmin</i>	Altura mínima	8
<i>Zmax</i>	Altura máxima	8
Z1...Zn	El valor de Z de cada punto de la rejilla, 4 byte, de izquierda a derecha de abajo hacia arriba.	

Tabla 4. - Características de la información obtenida.

Los puntos se tomaron cada 5 m que representa medio milímetro a la escala del mapa.

Posibles aplicaciones del modelo digital del relieve.

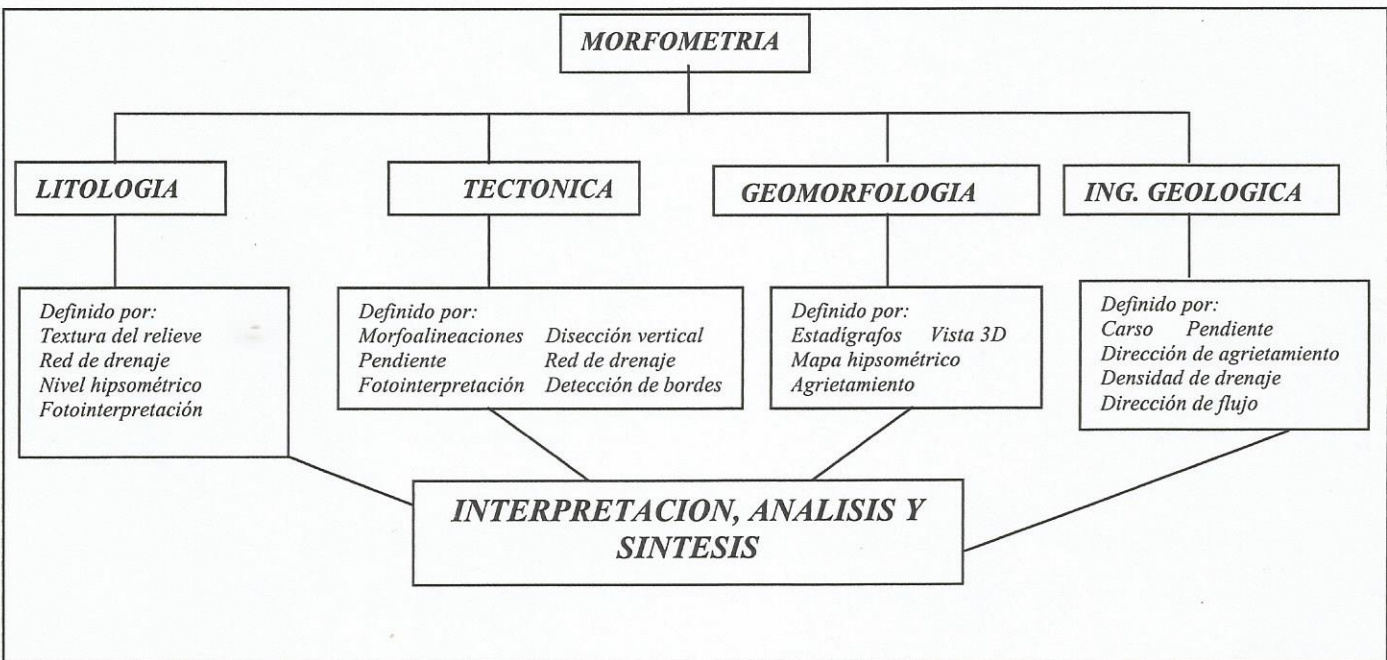
Teniendo el MDR de la forma planteada, es posible resolver un conjunto de tareas:

- Evaluar cualquier punto dados los valores de X, Y para obtener su altura.
- Restituir curvas de nivel del terreno según la equidistancia deseada.
- Generar mapas hipsométricos.
- La modelación matemática del movimiento de fluidos sobre la superficie terrestre.
- Determinar las cuencas según las líneas estructurales del relieve.
- Modelar los procesos de inundación y el diseño de cierres de embalses.
- Calcular la pendiente del terreno.
- Elaborar mapas morfométricos y correlacionar con otros campos físicos e imágenes aerocósmicas.

- Corregir mediciones gravimétricas de forma automatizada.
- Cálculos de volúmenes.
- Realizar modificaciones en el MDT y luego su restitución para analizar el impacto de una determinada obra.
- Es una variable importante en el pronóstico automatizado del carso.
- Evaluación de perfiles de viales y la creación de mapas de conveniencia vial a partir de criterios expertos.
- La orthotransformación de fotos aerocósmicas.
- En la clasificación radiométrica de imágenes aerocósmicas.
- En los estudios de factibilidad para el trazado de líneas de conducción de fluidos.
- En los análisis de riesgo al fuego.
- En los análisis de riesgo de deslizamiento.

II.1.3.- Análisis morfométrico y morfológico.

Diagrama II.2.- Diagrama de flujo del procesamiento morfométrico.



Los estudios geomorfológicos y morfométricos constituyen una cobertura importante para la definición de las características ingeniero - geológicas, ya que el resultado de la

aplicación de un conjunto de métodos de investigación ha permitido definir evidencias de índole geomorfológica, litológica, estructural y características del relieve. Es de entender que su estudio revierte gran importancia en la definición de zonas cuyas características definen criterios ingenieros variados.

Los trabajos geomorfológicos se dividieron en tres etapas fundamentales:

- 1. Etapa preliminar o preparatoria.*
- 2. Etapa de campo.*
- 3. Etapa de gabinete.*

Etapa preliminar: *En esta etapa se generaron y reinterpretaron los materiales existentes basados en la hipótesis de trabajo de que “El origen y evolución del relieve es el resultado de la interacción dialéctica de la tectogénesis y de la morfogénesis en condiciones geotectónicas y morfoclimáticas determinadas”. La utilización de técnicas numéricas y el procesamiento digital de imágenes pueden ayudar en mucho a descifrar estas litologías y estructuras, así como brindar evidencias que nos permitan entender el origen de esos procesos.*

De los múltiples mapas confeccionados fueron básicos en la interpretación geomorfológica el estereomapa, el MDT sombreado, el mapa de pendientes, mapa de disección vertical, mapa de relación de aspecto, mapa de red de drenaje por órdenes y el mapa de disección horizontal entre otros. En sentido general estos mapas no se incluyen por constituir materiales primarios para la obtención de los resultados finales.

Veamos la información que proporcionan algunos de estos mapas:

➤ ***Estereomapa.***

Su importancia fundamental está dada en que es posible exagerar las formas verticales permitiendo interpretar zonas llanas, donde los pequeños rasgos morfológicos pueden ser de importancia capital en el desciframiento litológico o estructural. Mediante el análisis de este mapa se pueden descifrar escarpes muy pequeños que no se observan en otros mapas. Puede ser interpretado en tres dimensiones con espejuelos con filtros especiales.

➤ **Mapa de cotas.**

Del MDT se obtuvieron los mapas de Cotas máxima, media y mínima. El mapa de cotas máximas, representa como una aproximación a la estructura primaria, con un relieve algo evolucionado, pudiendo definir un nivel de erosión anterior y relictos de erosión. En este mapa se pueden observar con mayor o menor grado las mismas morfoestructuras que en los mapas anteriores.

En el mapa de cotas medias, se pueden observar las mismas cosas, aunque existe una mayor tendencia al relieve actual, mientras que el mapa de cotas mínimas, se aproxima más al nivel de base de erosión.

➤ **Modelo Digital del Terreno sombreado (Anexo 1).**

Este mapa al igual que el anterior es de gran importancia al constituir un detector de bordes. Debido al gran poder resolutivo del MDT, se observa una imagen bien contrastada simulando una imagen radar en la que al igual que en esta, la cobertura vegetal, no constituye un factor enmascarante y por tanto es posible observar con gran detalle la superficie terrestre. Es muy efectivo para el trazado de alineaciones en la superficie terrestre.

➤ **Modelo hipsométrico sombreado.**

Permite caracterizar con bastante precisión la textura y composición del relieve así como determinar las direcciones predominantes de los morfoalineamientos o sistemas de estos y establecer las diferentes zonas que estos limitan. Constituye un material de importancia en el estudio del cuadro estructural regional y su relación con las diferentes formas del relieve.

➤ **Mapa de pendientes.**

Este es uno de los mapas más importantes realizados para este estudio, por la estrecha relación entre la pendiente, la erosión y los factores que es necesario tener en cuenta para la construcción, siendo las pendientes más abruptas susceptibles a la erosión en general y en particular a los deslizamientos.

➤ **Mapa de disección vertical**

Este marca las zonas de fracturas principales y de forma cualitativa se pueden separar las zonas de máximos levantamientos conociendo por supuesto la geología de la zona. Las isodisecciones de formas cerradas con valores altos se relacionan frecuentemente con zonas de levantamiento entre fallas, mientras que los máximos valores alineados constituyen por lo general escarpes de estas. Este mapa tiene importancia además en la obtención automatizada de las probables zonas de desarrollo del carso.

➤ **Mapa de relación de aspectos y de flujo superficial.**

Junto a los demás mapas, permiten caracterizar las formas del relieve, constituyendo prácticamente una clasificación. Tienen además una estrecha correlación con las estructuras y la dirección de estas.

Estos mapas determinan la dirección de las pendientes obtenidas a partir del modelo digital del terreno y simulan el movimiento de un fluido en superficie.

Con una adecuada gama de colores permite interpretar elementos estructurales y ayudan a la definición de las microcuencas en el área de estudio. Con flechas se representa dicha dirección y sus dimensiones son proporcionales al gradiente en cada punto

Estos mapas junto con los valores de pendientes y el modelo digital del terreno permiten caracterizar la forma de relieve; pueden tener una estrecha correlación con las estructuras y la dirección de estas.

➤ **Mapa de la red de drenaje por órdenes.**

Este da información litológica y estructural, además de contribuir a la clasificación geomorfológica, permitiendo establecer la densidad de las corrientes superficiales permanentes o no por unidad de superficie. Las variaciones bruscas de la red de drenaje como regla indican cambios importantes en el cuadro geológico desde el punto de vista estructural o litológico.

➤ **Mapa de disección horizontal.**

Este mapa permite caracterizar a las pequeñas cuencas lo que contribuye a la zonación geomorfológica, además de ayudar a la clasificación litológica y estructural, a través de la caracterización del drenaje. Es utilizado para el pronóstico automatizado del carso.

➤ **Mapas de isobasitas de 2 y 3 órdenes.**

Son de gran importancia para el estudio de las grandes estructuras y permiten la delimitación de los bloques tectónicos además de poder evaluar la dinámica de los procesos neotectónicos.

Etapa de campo.

Durante los trabajos de levantamiento geológico, de forma simultánea, se hicieron observaciones geomorfológicas directas, para su posterior procesamiento. Además se hicieron tomas fotográficas para dejar constancia de las diferentes formas del relieve.

Etapa de gabinete.

En la misma se procesaron las interpretaciones realizadas, conjugándose con las observaciones de campo y se validó la hipótesis de trabajo, cuyo resultado final fue el Mapa de Zonación Geomorfológica (Anexo 4) con la zonación característica, de gran importancia en la definición de la zonación ingeniero - geológica, pues el relieve, como se planteó en la hipótesis define diferentes zonas por sus características litológicas y estructurales.

II.1.4.- Obtención automatizada de los morfoalineamientos.

Este es uno de los procesamientos principales debido a que las estructuras por lo general tienen un reflejo característico en las formas del relieve. Si tenemos en cuenta que la zona ha sido afectada por el hombre con cambios en el paisaje, los métodos definidos a partir del relieve como elemento menos deformado por causas artificiales juega un papel primordial.

El cuadro estructural se obtuvo por la interpretación de un conjunto de variables como el procesamiento de las fotos aéreas y cósmicas y el procesamiento del relieve y de la red de drenaje, lo que unido a criterios de expertos posibilita obtener un cuadro tectónico de gran confiabilidad.

A partir del Modelo Digital del Terreno se realizó un conjunto de procesos encadenados para obtener el agrietamiento.

- *Se obtuvo la pendiente del terreno.*
- *Filtro pasa alta.*

- *Filtro direccional cada 15 grados.*
- *Suma de máximos del filtrado direccional y obtención de la fracturación total.*
- *Filtrado pasa alta para distintas aberturas y reescalado según la jerarquía del agrietamiento.*
- *Filtro direccional cada 15 grados.*
- *Umbralización según la jerarquía del agrietamiento.*
- *Filtro detector de bordes pre-esqueletización.*
- *Esqueletización de las imágenes umbralizadas.*
- *Georeferenciación.*
- *Vectorización.*
- *Determinación de los parámetros del agrietamiento (densidad de agrietamiento, rosa de direcciones, etc.)*

El mapa de densidad de fracturas (Anexo 10), fue obtenido como la suma de la cantidad de grietas por unidad superficial en una hectárea.

II.1.5.- Obtención automatizada de las zonas con probable desarrollo del carso.

Por la importancia que tiene desde el punto de vista ingeniero - geológico la existencia de la morfología cársica, se llevó a cabo un conjunto de procesamientos que posibilitó la determinación de las probables zonas donde estos procesos son de mayor intensidad, lo cual es de gran utilidad para el planeamiento de las investigaciones detalladas subsiguientes.

El desarrollo y manifestación de los procesos de carsificación son muy variados y complejos, por lo que diseñar una metodología que sea aplicable a cada una de estas manifestaciones es una tarea bastante compleja, sin embargo para un conjunto de tipos de morfologías es posible analizar los factores y rasgos morfométricos que pueden ayudar con creces a descifrar estos fenómenos.

El método de desciframiento parte de un conjunto de rasgos y evidencias que posibilitan alcanzar los resultados que a continuación definimos:

- ***Las formaciones cársicas se desarrollan sobre tipos selectivos de litologías; esta variable permite definir la existencia del Carso superficialmente sobre las rocas favorables.***

- *El coeficiente de permeabilidad es máximo; las zonas donde se desarrollan estos tipos de manifestaciones cársticas se caracterizan por poseer una red de drenaje de poca densidad, las aguas superficiales se infiltran por las oquedades cársticas por lo que constituye una variable morfométrica de gran importancia; la existencia de mínimos de disección horizontal es un índice de interpretación. Para poder eliminar zonas donde la erosión vertical es más intensa que la horizontal tenemos en cuenta que las formas cársticas se manifiestan en el relieve con mínimos de disección vertical, pues al agua superficial infiltrarse pierde la energía necesaria para erosionar verticalmente la roca. Partiendo de estos criterios se realizó una clasificación por falso color de estas variables obteniendo un mapa de zonas con posible desarrollo cárstico.*
- *Las zonas de Carso tienen control estructural; al superponer las zonas de posible desarrollo del carso con el mapa de fracturación se pueden interpretar las principales estructuras controladoras.*



Foto 11.- Calizas de la Formación Maya con intensa carsificación superficial.

X: 753300; Y:185200

II.1.6.- Procesamiento geomatemático de la información.

El objetivo de este procesamiento es transformar los parámetros ingeniero – geológicos a un lenguaje geomatemático para que los mismos sean evaluados para el fin que nos proponemos en esta investigación, de una forma fácil, segura y precisa para el grado de detalle con que se trabajó.

Se establecen los umbrales tipológicos que caracterizan las variables en cuestión, ofreciéndose tres zonas de acuerdo al grado de conveniencia, estas son:

1. Zonas favorables (Conveniencia buena).
2. Zonas de condiciones medias (Conveniencia regular).
3. Zonas desfavorables (Conveniencia mala).

Llamaremos a los valores que marcan estos intervalos R_1 y R_2 , donde los que son mayores que R_1 se consideran buenos, los que están entre R_1 y R_2 son regulares y los menores que R_2 son malos.

Para lograr este objetivo se establece una fórmula que respeta el criterio siguiente:

El valor 1 nos marca el valor a partir del cual la variable comienza a ser favorable y 0 donde comienza a ser desfavorable, los valores que quedan entre 0 y 1 son de condiciones medias.

$$A_{ij} = 0.95 * (f_{ij} - R_2) / (R_1 - R_2)$$

Donde F_{ij} es un valor de la matriz de la variable.

Quedando la siguiente relación:

Si $F_{ij} = R_1$ $A_{ij} = 0.95$ Regular

Si $F_{ij} = R_2$ $A_{ij} = 0$ Regular

Si $F_{ij} > R_1$ $A_{ij} > 1$ Bueno

Si $F_{ij} < R_2$ $A_{ij} < 0$ Malo

Como es de suponer la elección de los parámetros R_1 y R_2 es la tarea más importante en la creación de los mapas de conveniencia y por lo tanto se debe realizar sobre bases sólidas. Para ello se pueden considerar los siguientes criterios:

1. Ingenieril.- Se consultan las normas y las metodologías existentes para cada tipo de obra en dependencia de las características de las obras y el medio.
2. Estadísticos.- Se apoya en métodos estadísticos de análisis de muestras y procesamiento de datos.
3. Criterios expertos.- Según la práctica y la lógica para el tipo de obra que se trate.

Para la creación de los mapas analíticos de las variables ingeniero – geológicas o la síntesis de algunas o en su totalidad se usa un paquete de programas, que entre otros incluye: histog, análisis, síntesis, polgrd, recalgrd, desarrollados en el GER – Oriente.

Mapa litológico evaluado.

Se parte del Mapa Litológico obtenido de los trabajos realizados, donde se le da un peso a cada una, según la importancia que tengan para la tarea a resolver (en este caso para obras de cimentación).

Mapa de carso evaluado.

Se partió de las zonas con probable carsificación obtenidas por los métodos de procesamiento de imágenes, obteniéndose como resultado tres tipos o niveles probables de desarrollo cársico (por intensidad y magnitud).

Mapa de Densidad de Fracturas evaluado.

Este mapa tomó como base la cantidad de fracturas existentes en una hectárea (densidad de fracturas) y apoyándonos en el criterio de Beniaowsky, consideramos que si existen menos de 66 grietas por hectárea se considera como una fracturación baja ya que deben de estar a más de 3 m de separación y de igual forma si existen más de 200 grietas por hectárea se estima como una fracturación alta ya que tienen que estar a menos de 1 m de separación, quedando un rango de media entre 66 y 200.

Mapa sintético de deslizamientos (posibles zonas de deslizamientos) .

El mapa de deslizamientos se obtuvo mediante la síntesis de los mapas analíticos de pendiente media, litología y densidad de fracturas, ya explicados estos dos últimos en párrafos anteriores.

Para la creación del mapa analítico de pendiente media que considera los criterios a tener en cuenta para los deslizamientos, se partió del mapa de pendiente real que genera el SURFER, al que se le calculó la pendiente media con un paso de 50 m y solape de 100 m. Para generar el analítico se tomaron valores de $R_1=5$ y $R_2=20$: ya que según la bibliografía consultada las pendientes menores de 8 grados no son propensas a deslizamientos, por lo contrario las que tienen pendientes mayores de 25 grados son factibles al desarrollo de este fenómeno, quedando un umbral de regular entre 5 y 20.

Mapa sintético de empantanamiento (posibles zonas de empantanamiento).

El mapa de empantanamiento se obtuvo mediante la síntesis de los mapas analíticos de pendiente media y litológico evaluado ya explicados en los párrafos anteriores.

Mapa de pendientes evaluado.

Se partió del mismo mapa de pendiente media. Para generar el analítico se tomaron valores de $R_1=4$ y $R_2=8$: ya que según la bibliografía las pendientes menores de 4 grados son convenientes para la construcción, lo contrario para las que tienen pendientes mayores de 8 grados; quedando un umbral de regular entre 4 y 8.

Mapa sintético de conveniencia constructiva.

Se obtuvo a partir de la síntesis de las variables consideradas en los mapas analíticos antes explicados asociándole un peso a cada una, en dependencia de la influencia que juega sobre la conveniencia constructiva en el Bahía de Mata.

II.1.7.- Visibilidad desde los miradores propuestos por Plan Director.

Aunque no define la conveniencia o no para la construcción de una u otra obra es un elemento interesante pues define la posibilidad de observación de un punto a otro pudiendo aprovechar al máximo las posibilidades paisajísticas del entorno.

Para la determinación de la intervisibilidad desde los miradores se hace un análisis del relieve y la superficie de la vegetación. Para esto se parte de las coordenadas del punto a evaluar y el Mapa de Superficie, registrando su visibilidad terrestre en cualquier ángulo entre 0° y 360° .

El paso angular escogido para la exploración fue de 2° ; la longitud del rayo (10 Km) permite la exploración de toda la zona del Polo Turístico de Bahía de Mata. Esta información nos permite evaluar la ubicación de las obras de acuerdo a su interés turístico y paisajístico, ofreciéndose los diagramas de visibilidad para cada zona.

En el Polo Turístico de Bahía de Mata es necesario evaluar las vistas entre diferentes objetos naturales, pero además para algunas obras el elemento paisajístico y turístico es una exigencia; es por ello que se ha utilizado una tecnología computadorizada, comprobada en obras anteriores, para hacer el análisis de la visibilidad terrestre, entre todos los hoteles, playas, etc. lo cual permite conocer las posibilidades que en este sentido tienen las mismas y poder tomar decisiones más convenientes y atractivas para el turismo.

El análisis de la visibilidad terrestre es ejemplificada en el anexo gráfico correspondiente, en el que se evalúa la visibilidad que tienen los turistas desde los miradores. Para esto se considera la altura promedio de un hombre (1.70 m). Esto se realiza además, considerando la vegetación para lo que se confeccionó el Modelo digital de la vegetación, tomando como base el mapa topográfico escala 1:10 000.

CAPITULO III.- CLASIFICACION INGENIERO – GEOLOGICA PRELIMINAR Y ANALISIS DE LA CONVENIENCIA INGENIERO – GEOLOGICA Y CONSTRUCTIVA DEL POLO TURISTICO DE BAHIA DE MATA.

III.1 Clasificación ingeniero – geológica preliminar.

Para la realización de esta clasificación ingeniero – geológica preliminar con fines orientativos en las etapas más detalladas de las investigaciones a realizar sobre el sector del polo turístico de Bahía de Mata, se utilizó como información de partida la existente en la literatura, algunos datos indirectos obtenidos por analogías y sobre todo en los casos posibles las observaciones directas obtenidas como resultado de los trabajos de campo. Para la obtención de la clasificación se confeccionó un conjunto de materiales gráficos conteniendo cada uno de ellos la valoración de una variable para su análisis individual, su conjunción posterior junto al resto de las utilizadas y la síntesis de todas ellas que trae como resultado el Mapa de clasificación ingeniero – geológica preliminar (Anexo 5).

Las variables que se utilizaron para la confección del anexo citado fueron: densidad de fracturas, pronóstico del Carso, potencia de suelo, isoestratas del lecho rocoso y potencia de la zona de aereación entre otras.

Se confeccionaron los mapas de: Cinemática de bloques, potencia de la zona de aereación, isoestratas del lecho rocoso, resistencia a la compresión y espesor de suelos.

Mapa de cinemática de bloques (Anexo 7).- Este se confeccionó con el objetivo de determinar dentro del área estudiada los sectores con tendencia al levantamiento, hundimiento o que permanecen relativamente estables. Como se puede apreciar y como se ha precisado en el análisis de la tectónica la mayor superficie corresponde a los sectores con tendencia a la estabilidad, existiendo un cierto equilibrio entre los que se levantan y hunden respectivamente. Las zonas de levantamiento corresponden al escarpe de las terrazas de la Formación Maya hacia el Este y a las elevaciones que aparecen hacia la divisoria oriental de la cuenca del río Mata. Es interesante observar que todos los sectores con tendencia al levantamiento excepto algunos con carácter puntual en la parte noroccidental, se agrupan dentro de una banda estrecha en forma de un arco cóncavo al sureste seguramente relacionados con los bloques yacentes de las fallas F-III y F-II.

Mapa de resistencia a la compresión (Anexo 11).- El mapa fue preparado sobre la base de los datos existentes de este parámetro en Kg/cm^2 . Del análisis de este material se desprende que la mayor parte de la zona se encuentra en el rango de 280 a 340 Kg/cm^2 , coincidiendo con las regiones de distribución de las formaciones Maya y Cabo Cruz. El resto de la zona tiene valores menores, siendo muy malos los existentes para los depósitos no consolidados.

Mapa de potencia de la zona de aereación (Anexo 9).- Este mapa se obtuvo generando una superficie con los ríos permanentes del área de estudio y valores cero para la línea de costa; luego se le restó al relieve actual la superficie generada, obteniéndose el espesor de sedimentos existentes desde el manto freático (superficie libre) hasta el contacto con la atmósfera (superficie terrestre).

Una valoración del mapa obtenido indica lógicamente que las zonas con menor espesor de la zona de aereación coinciden con los sedimentos aluviales en las llanuras de inundación de los ríos en tanto que los sectores con espesores máximos se encuentran al NW en las calizas de Maya y en un sector ubicado hacia la parte sur – central, en el contacto entre las formaciones Castillo de los Indios y Cabo Cruz. El resto de la zona de trabajo tiene un comportamiento bastante homogéneo en correspondencia con las características geólogo – estructurales y geomorfológicas existentes.

Mapa de isoestratas (Anexo 8).- Este mapa se obtuvo restando el relieve actual menos el mapa de potencia de suelo. Este material es muy importante debido a que refleja el relieve del lecho rocoso, es decir el techo del sustrato sin el espesor de suelos. Como se puede observar en el mismo los valores más altos para las estratoisohipsas (isoestratas) se desarrollan en el extremo suroriental de la zona donde hay espesores poco potentes de sedimentos y coincidentes con los sectores más elevados, en tanto que los sectores con menores valores de alturas absolutas para el techo aparecen en las llanuras aluviales y a todo lo largo de la zona costera.

Mapa de potencia suelo (Anexo 10).- Este mapa se obtuvo por la relación que existe entre los agentes erosivos y los geomorfológicos en la formación de potencias de suelos, los valores así obtenidos, de forma indirecta, permiten analizar los valores de las potencias de sedimentos en las diferentes zonas y poder medir preliminarmente las mejores zonas desde el punto de vista constructivo.

La relación empleada fue:

$$Ps = (df^N / pd^N * pza^N) Cof-Lito$$

Donde:

df^N – Densidad de agrietamiento normalizada.

pd^N – Pendiente del terreno normalizada.

pza^N – Potencia de la zona de aereación normalizada.

Cof-Lito- Coeficientes de valores máximos de suelos por formaciones obtenidos por la literatura (m).

Los mayores espesores para una litología se obtendrán cuando df^N sea máxima y pd^N pza^N sean mínimos. Este procedimiento puede mejorarse aplicando funciones de correlación entre los resultados obtenidos de esta forma y los resultados por Zonas ingeniero-geológicas o por Zonas geomorfológicas, con lo cual se puede ir mejorando la resolución del método en sucesivas etapas.

Del análisis de este mapa se desprende que las zonas con mayor desarrollo de suelo (material no rocoso) se encuentran relacionadas con las llanuras de inundación de los ríos y alrededor de las dos bahías existentes. Como puede apreciarse la región presenta una gran homogeneidad en la potencia de los suelos, lo cual está en plena correspondencia con el predominio de las rocas carbonatadas que son bastante resistentes a los procesos de intemperismo y a la no-existencia de una red fluvial permanente capaz de destruir intensamente los materiales terrígenos y vulcanógeno-sedimentarios que conforman el resto de las litologías existentes. En sentido general puede afirmarse que la potencia de destape en la zona de desarrollo del Polo es muy baja.

Mapa de clasificación ingeniero – geológica preliminar (Anexo 12).- Esta clasificación se realizó empleando las variables: pendiente del relieve, pendiente de isoestratas, potencia de suelo, cinemática de bloques, densidad de fracturas, resistencia a la compresión y potencia de la zona de aereación, se empleó del método ISODATA para la clasificación no supervisada y se evaluaron los parámetros analizados mediante el programa Estadística. Como resultado de se obtuvieron 6 zonas que se distinguen de acuerdo al comportamiento de cada una de ellas tal y como se expresa en la tabla que acompaña al Mapa y donde puede observarse cómo se caracteriza cada una de ellas. Existen valores dentro de las mismas que son bastante significativos.

La zona más ampliamente extendida es la 3, coincidente con las calizas de las formaciones Cabo Cruz y parte de Maya. Para la región donde se proponen las construcciones del polo turístico la máxima importancia la revisten las zonas 5 y 6 y en mucho menor medida la zona 4.

III.2.- Análisis de los bloques estructurales.

A los efectos de este trabajo los bloques definidos por las diferentes estructuras coinciden con los bloques constructivos, pues en todos los casos el emplazamiento de una u otra obra se realiza dentro de los mismos sin que sean afectadas por las disyunciones existentes.

Del análisis de la tectónica obtenida a partir de la información del MDR, fotointerpretación e informaciones precedentes, el área quedó dividida en tres Macrobloques limitados por las fallas de 1^{er} Orden F-I y F-III, estos se subdividieron en 11 Mesobloques a través de las fallas de 2^{do} Orden F-II, F-IV, F-V y F-VI, y estos en 22 Microbloques limitados por las fallas de 3^{er} Orden F-VII, F-VIII y F-IX.

En la Tabla N° 5, aparecen con su denominación:

Macrobloques		Mesobloques	Microbloques
	A	A ₁ , A ₂	-
	B	B ₁ , ..., B ₆	B _{1a} , B _{1b} B _{3a} , ..., B _{3d} B _{2a} , B _{2b} , B _{2c} B _{6a} , B _{6b}
	C	C ₁ , C ₂ , C ₃	C _{1a} , ..., C _{1d} C _{3a} , ..., C _{3c} C _{2a} , ..., C _{2d}
TOTAL	3	11	22

Tabla N° 5: Denominación de los bloques.

A continuación se brinda la caracterización de Oeste a Este de los bloques que poseen interés constructivo, según una variante preliminar del Mapa de Ordenamiento Territorial del Polo (Anexo 2).

Microbloque B_{2b}: En él están ubicados dos campos de golf y cuatro parcelas de alojamiento de 150 habitaciones cada una, las rocas presentes están representadas por las formaciones carbonatadas Jaimanitas y Maya, localizadas en la Zona F de la Clasificación Geomorfológica (Anexo 4) caracterizada por una pendiente media de 5.39 %, una cota media de 42.42 m y una probabilidad máxima de ocurrencia de carso de 72.9 %; mientras que el extremo Este se localiza en la Zona A con una pendiente media de 11.79 %, una cota media de 33.88 m y una probabilidad de ocurrencia de carso máxima 62.99 %.

Microbloque B_{2c}: Se localizan en él, una parcela de alojamiento de 700 habitaciones, el Núcleo principal de servicios extrahoteleros, la Base náutica y el extremo este de un campo de golf, las rocas presentes son las descritas en la estructura anterior. Aproximadamente un 60 % de su área se localiza en la Zona A y el resto en la Zona F.

Microbloque B_{3d}: Está propuesta la ubicación del Club hípico, sobre rocas cuaternarias, pertenecientes a la Zona D con una pendiente media de 2.41 %, cota media de 7.15 m y una probabilidad máxima de ocurrencia de carso de 45.89 %.

Microbloque C_{1a}: En él se encuentran como objetos de obra propuestos un Núcleo principal de servicios extrahoteleros y una parcela de alojamiento de 200 habitaciones, las rocas presentes son de las formaciones Maya (carbonatada) y los sedimentos cuaternarios, ubicados en la Zona geomorfológica D, anteriormente descrita. Es muy característico en él la presencia de un gran escarpe por detrás de los objetos de obra.

Microbloque C_{1b} y C_{1c}: En ambos están localizados un campo de golf, una parcela de alojamiento de 200 habitaciones y otra de 600 habitaciones, las rocas presentes pertenecen a las formaciones carbonatadas Jaimanitas y Maya, y a la Zona geomorfológica F.

III.3.- Transformación de los resultados a conveniencia ingeniero – geológica.

Para la caracterización ingeniero – geológica y constructiva por criterios de conveniencia de cada zona se realizó el análisis de los resultados obtenidos en esta etapa teniendo en cuenta primero los parámetros ingeniero – geológicos que determinan la calidad del macizo para la ubicación de las obras ingenieriles, luego se determinó para estos parámetros cuando el mismo es conveniente, es decir a partir de que valor este se hace conveniente y a partir de cual es inconveniente, bajo estos criterios se procedió a transformar el mapa original del parámetro, según su entorno de conveniencia en un mapa

analítico tipológico de conveniencia. A partir de estos mapas analíticos de cada parámetro elegido por un proceso de síntesis se obtuvo el Mapa Sintético de Conveniencia ingeniero – geológica para Obras de cimentaciones (Anexo 19).

Este resultado permite analizar y brindar de forma asequible y comprensible tanto a los investigadores y proyectistas como a los inversionistas de los resultados más importantes alcanzados.

Los parámetros considerados para determinar el grado de conveniencia fueron:

- **Litología.-** *caracteriza las propiedades físico – mecánicas del estrato de cimentación, definiendo la profundidad de desplante y el tipo de cimentación a asumir. Su evaluación se hizo para cada tipo de litología predominante dentro de cada formación*
- **Carso.-** *Las zonas de desarrollo cársico intenso resultan complejas desde el punto de vista constructivo y por tanto son muy costosas las cimentaciones en este tipo de estrato por requerir el relleno de material muy resistente, siendo muy inestables ante un movimiento sísmico. Este parámetro se usó utilizando el mapa de pronóstico de carso determinado por procesamiento de imágenes y los criterios del levantamiento geológico.*
- **Fracturación.-** *Define el grado de densidad de fracturación, es el factor que acelera y controla los procesos y fenómenos físico – geológicos, definiendo además el comportamiento de los movimientos tectónicos activos o neotectónicos.*
- **Deslizamientos.-** *Su influencia sobre las obras de cimentaciones a ejecutar se evaluó a partir de criterios indirectos y se avaluaron a partir de la pendiente, la fracturación y el tipo de roca.*
- **Empantanamiento.-** *Caracteriza zonas de muy baja resistencia, muy asentables, donde se requieren cimentaciones atípicas (muy costosas). Las zonas con estas características se consideran excluyentes. Sobre este fenómeno tienen una gran influencia la pendiente, la profundidad del manto freático y el tipo de roca.*
- **Pendiente.-** *Aunque no define un factor de peso para el emplazamiento de una obra de cimentaciones en la región por las características del relieve presente, es un parámetro que influye en los dos últimos fundamentalmente, por lo que lo continuamos considerando como un parámetro independiente en la evaluación de conveniencia.*

Mapa analítico de conveniencia litológica.

Teniendo en cuenta que este parámetro no constituye un valor cuantitativo y siendo precisamente este aspecto quien nos permite interactuar con el resto de los datos (de forma numérica) es que procedimos a confeccionar una matriz triangular de Fuller que nos permitiese la transformación cualitativa de los datos como se presenta a continuación:

N ^o	Litologías	1	2	3	4	5	6	7	Pes ^o
1	Calizas detríticas coralinas	x	•	•	•	•	•	•	7
2	Calizas duras carsificadas		x	•	•	•	•	•	6
3	Calizas órgano-detríticas carsificadas			x	•	•	•	•	5
4	Tobas ácidas				x	•	•	•	4
5	Conglomerados polimícticos					x	•	•	3
6	Areniscas – lutitas						x	•	2
7	Depósitos friables							x	1

Tabla 6.- Matriz triangular de Fuller.

En este caso el umbral de conveniencia es $R_1=4$ (valores mayores o iguales resultan convenientes) y el umbral de inconveniencia es $R_2=2$ (valores menores son inconvenientes). Los valores intermedios son de conveniencia regular. Estos valores son similares para obras de cimentaciones.

Los resultados obtenidos en la evaluación de este parámetro, definen cuatro zonas bien diferenciadas donde las rocas de los complejos vulcanógeno - sedimentario, y parte del complejo carbonatado tienen un comportamiento bueno, en tanto que dos sectores de este último ubicados a todo lo largo de la costa y al sur de la zona de trabajo tienen un comportamiento de regular a bueno. Los sedimentos superficiales de génesis variada (sedimentos palustres, aluviales y deluviales) tienen un comportamiento inconveniente.

De acuerdo a este parámetro las parcelas están ubicadas en zonas convenientes o de conveniencia regular a buena.

Mapa de carso evaluado.

Este parámetro es de suma importancia para la región de estudio por constituir una zona costera con un desarrollo cársico variado en sus manifestaciones morfológicas de acuerdo a las formaciones presentes, las cuales además ocupan aproximadamente el 75 % de la superficie total de trabajo y por la posible existencia de carso subterráneo.

Para el análisis de conveniencia se establecieron los umbrales de acuerdo a la probabilidad de la presencia de la morfología cársica expresada en por ciento.

Los umbrales de conveniencia se definieron como $R_1=2$ y $R_2=21$, de acuerdo a la frecuencia del carso determinada con el programa histog.

Del Mapa analítico de carsificación se obtuvo como conclusión que las rocas donde se asientan las construcciones del Polo Turístico tienen una definición muy clara de conveniencia regular a buena y de mala a regular, dado que todas ellas se desarrollan sobre las rocas de las formaciones Jaimanitas y Maya.

Esta información por su importancia para la construcción debe ser comprobada durante la investigación detallada empleando un conjunto de métodos directos e indirectos de campo que precisen la posición espacial, su magnitud e intensidad debido a la interrelación genético – espacial que existe entre el carso superficial y subterráneo, sobre todo porque la presencia del primero es un indicador de la probabilidad de existencia del segundo (Anexo 18).

Mapa de densidad de fracturas evaluado.

La fracturación (fallas y agrietamiento) en la región tiene una importancia significativa en el comportamiento geotécnico y geodinámico del macizo rocoso donde se van a construir las obras ingenieriles, aspecto a tener en cuenta pues no existen dudas, que es el fenómeno que ha acelerado en mayor o menor medida a los fenómenos físico – geológicos descritos y además el elemento que define el estado de las rocas de los complejos litológicos establecidos, por lo que es obvio que por la complejidad tectónica de la región esta variable debe ser tomada muy en cuenta en la evaluación de la conveniencia constructiva en cada área y para cada objeto de obra (Anexo 19).

Las variables tipológicas $R_1=767$ y $R_2=1926$ (en m/Km^2) se calcularon estadísticamente a partir de la detección automatizada del agrietamiento por el relieve, que aunque

constituye un método indirecto evidencia diferencias significativas en los tipos litológicos descritos.

Como conclusión determinante, se observa que en las áreas para la construcción del Polo Turístico a lo largo de una banda paralela a la costa, la conveniencia es en general buena o de regular a buena, exceptuando algunos pequeños sectores generalmente en la zona de contacto entre las calizas detríticas de Jaimanitas y las calizas duras carsificadas de Maya.

En la zona costera al este y oeste de Playa Manglito se destacan dos sectores con conveniencia de mala a regular; al este de la Bahía de Mata existe un parche con conveniencia de regular a buena. Estos tres casos son anómalos para la zona costera y deberán ser detallados.

En sentido general, dentro del área de interés constructivo las peores condiciones se dan hacia el extremo noroccidental, al este de Bahía de Boma y alrededor de la localidad de Guandao. Existen otras zonas con condiciones malas pero no están relacionadas con las zonas de interés constructivo o fuera de los límites del Polo.

Mapa sintético de empantanamiento evaluado.

Para la confección de este mapa se tuvieron en cuenta dos variables: litología y pendiente; el nivel del manto freático se valoró cualitativamente; estas definen las zonas susceptibles al empantanamiento, para lo cual se consideraron como umbrales tipológicos los siguientes:

<i>Litología</i>	$R_1 = 4$	$R_2 = 2$
<i>Pendiente</i>	$R_1 = 10$	$R_2 = 3$

En el Mapa sintético de empantanamiento el mayor peso corresponde a la pendiente para el caso de obras de cimentaciones, por las particularidades de esta región esta variable define en el caso de las rocas de los complejos superficiales la potencia de suelo, las que combinadas con los niveles del manto freático y las aguas pluviales, definen las zonas susceptibles al empantanamiento.

La zona de los trabajos, dadas sus características morfológicas y litológicas es poco propensa al desarrollo del empantanamiento, de las áreas probables las únicas donde efectivamente el fenómeno se manifiesta es en la desembocadura del río Boma, donde se

desarrolla de forma permanente un pantano alargado; la otra zona con alguna importancia es la parte occidental de la Bahía de Mata aunque son más pequeños que en el caso anterior (Anexo 15).

Mapa de deslizamientos evaluado.

Para el análisis de la conveniencia por deslizamientos se tuvo en cuenta la densidad de fracturas y la pendiente. Para la densidad de fracturas se tomó como $R_1=767$ y $R_2=1926$ y para la pendiente $R_1=5$ y $R_2=20$. El sintético para deslizamiento se realizó dándole más peso a la pendiente aunque lógicamente la otra variable juega un papel importante.

Las zonas con conveniencia buena están localizadas en la parte costera, excepto al este de la Bahía de Mata donde es predominantemente regular. Las otras porciones con este carácter están sobre todo en los valles aluviales.

Los peores sectores por esta variable corresponden a la parte sureste de la región estudiada coincidente con las elevaciones más inclinadas y con las terrazas de Maya hacia el noroeste.

En general el comportamiento predominante del área es de regular (Anexo 16).

Mapa de pendientes evaluado.

La zona del Polo Turístico de Bahía de Mata como se ha explicado presenta rangos de pendientes bastante contrastantes dadas sus características geomorfológicas.

Para la conveniencia se escogió como medida de la pendiente la máxima, en este caso el umbral de conveniencia es $R_1 = 5\%$ (valores inferiores o iguales resultan convenientes) y el umbral de conveniencia $R_2=20\%$ (valores mayores son inconvenientes).

Como se puede observar en el Mapa de pendientes evaluado (Anexo 17) existe una zonación característica para esta variable.

Las zonas de conveniencia buena están relacionadas con la llanura costera donde se desarrolla la formación Jaimanitas y la parte superior del primer nivel de terrazas en rocas de la Formación Maya, al igual que en las cimas aplanadas de la Formación Cabo Cruz. Es interesante observar como entre estas tres zonas se disponen sectores lineales de conveniencia mala coincidentes con el frente del escalón de las terrazas. El otro sector con conveniencia buena por pendiente corresponde a la zona de los valles aluviales

correspondientes a las llamas aluviales de los ríos principales. Se pueden apreciar sectores puntuales con conveniencia buena como depresiones intramontanas.

El extremo sureste y las vertientes de los valles aluviales tienen conveniencia mala o con tendencia a regular.

Según el mapa de conveniencia en el área de interés todos los objetos de obras están ubicados en conveniencia buena o de regular a buena, excepto el Club Hípico que en su parte occidental coincide con el límite de un sector con conveniencia mala.

- **Mapa sintético de conveniencia ingeniero – geológica y constructiva para obras de cimentaciones.**

Este mapa como se ha planteado constituye la síntesis de todas las variables o parámetros ingeniero – geológicos y topográficos evaluados, por lo que los criterios de prioridad de ponderación en este caso se realizaron teniendo en cuenta las características ingeniero – geológicas de la región, las inversiones a ejecutar y nuestra experiencia en este tipo de investigaciones, obteniendo el mapa sintético de conveniencia ingeniero – geológica para cimentaciones (Anexo 19).

Con este material es posible tomar decisiones sobre la mejor ubicación de las obras y objetos y sobre todo orientar los trabajos de investigación detallada como vía de ejecutar el volumen mínimo necesario de trabajos de campo, lo cual contribuirá a disminuir los costos de la inversión.

No.	Parámetro	1	2	3	4	5	6	Peso
1	Litología	x	•	•	•	•	•	6
2	Pendiente		x	•	•	•	•	5
3	Carso			x	•	•	•	4
4	Densidad de fracturas				x	•	•	3
5	Deslizamientos					x	•	2
6	Empantanamiento						x	1

Tabla 7.- Matriz triangular de Fuller para conveniencia para cimentaciones.

De acuerdo a las variables analizadas para llegar a la síntesis de la conveniencia ingeniero - geológica el comportamiento general de las zonas de interés constructivo es bueno o de regular a bueno. Los sectores ubicados desde la parte central de los límites de las bahías hacia el sur donde lógicamente se desarrollan los depósitos no consolidados tienen conveniencia mala.

El área de mayor extensión de conveniencia mala es la correspondiente a los valles aluviales donde se desarrollan los sedimentos de este tipo y donde ellos se interdigitan dando lugar a los pantanos enunciados.

Existen algunos sectores muy pequeños y diseminados dentro del área del Polo, que presentan conveniencia de regular a mala pero no se considera la construcción de ninguna obra sobre los mismos.

Todas las áreas coincidentes con las rocas de las formaciones Maya y Cabo Cruz se presentan con una conveniencia de regular a buena y de mala a regular.

Es interesante que las zonas donde se propagan las rocas terrígenas y vulcanógeno-sedimentarias como regla tienen conveniencia buena.

Los criterios de evaluación descritos se corresponden para construcciones complejas estructuralmente y que exigen buenas condiciones ingeniero geológicas, pues para construcciones ligeras las condiciones son totalmente favorables.

CONCLUSIONES

Dadas las características geológicas, geomorfológicas e ingeniero – geológicas obtenidas por los diferentes métodos empleados en el sector del Polo Turístico Bahía de Mata se pueden emitir las conclusiones siguientes:

- 1. La región para el desarrollo del Polo Turístico de Bahía de Mata presenta condiciones favorables para las construcciones. El corte geológico de la región de Bahía de Mata está integrado por 4 Complejos litológicos y 6 unidades estratigráficas como se expresa en el epígrafe correspondiente. El complejo predominante es el carbonatado. La tectónica está representada por dos sistemas de fracturas bien definidos con dirección SW – NE y SE – NW que dividen al área en bloques tectónicos los que han sido jerarquizados desde macrobloques hasta microbloques. Las Fallas F-I y F-III dividen el área en tres macrobloques, los cuales poseen características distintivas fundamentalmente de acuerdo a su localización geográfica y geólogo – tectónica y estos a su vez fueron subdivididos en dominios menores.*
- 2. Considerando las variables evaluadas, litología, empantanamiento, carso, densidad de fracturas, pendiente y deslizamientos podemos concluir que la conveniencia ingeniero - geológica y constructiva del sector del polo turístico es favorable y teniendo en cuenta las propiedades físico-mecánicas tomadas esencialmente de la literatura así como las características litológicas y estructurales del área, son factibles las construcciones de los objetivos considerados en el Plan Director que se propone.*
- 3. Se establecieron las zonas de riesgos determinadas por la existencia de fenómenos físico – geológicos tales como deslizamientos, empantanamientos, carso y densidad de fracturas entre otros que inciden de manera directa en la conveniencia constructiva.*
- 4. Se caracterizó el cuadro geólogo – tectónico existente precisando a una escala mayor la distribución superficial de las diferentes unidades estratigráficas y de la tectónica disyuntiva. Se establecieron las zonas de propagación de los sedimentos no consolidados del cuaternario entre los que se destacan los aluviales.*

RECOMENDACIONES.

Para el desarrollo de las investigaciones ingeniero - geológicas detalladas en las zonas de interés constructivo, deberá considerarse el empleo de un complejo de métodos geólogo – geofísicos y perforaciones que contribuya a aclarar:

- 1. El espesor de los materiales de la cobertura sedimentaria no consolidada y del material eluvial desarrollado sobre las diferentes litologías y confirmar la profundidad del sustrato que se propone preliminarmente en este trabajo.*
- 2. Las zonas de desarrollo del carso subterráneo en las formaciones Maya y Cabo Cruz y el posible control tectónico del mismo y su relación genético – espacial con el carso superficial.*
- 3. La posición espacial de las principales dislocaciones disyuntivas y su probable extensión por debajo de los límites del polo, dado su carácter cubierto por las secuencias jóvenes.*
- 4. La existencia de aguas subterráneas y su caracterización desde el punto de vista hidrodinámico, la calidad de las mismas y las posibilidades de su uso para el abasto y el consumo humano.*

BIBLIOGRAFÍA.

1. Arcia R. M. (1997): *Características geólogo – geográficas de Cuba*. CNIG. IGP. La Habana.
2. *Atlas Nacional de Cuba*. (1988): ACC.
3. Astráin P.J, Guilarte C.M, Leyva P.C. Pérez R. L. (1992): *Sistema de investigación ingeniero – geológico regional básico*. Inédito.
4. Blanco J, Proenza J. (1994): *Terrenos geológicos de Cuba Oriental*. Rev. Minería y Geología. Pp 34-39.
5. Beniawsky Z.T. (1984): *Rocks mechanics design in minning and tunnelling*. Ed. Balkema/Rotterdam/Boston.
6. Brezsniansky K. et. Al. (1983): *Perfiles comparativos de las áreas de Cabo Cruz y Maisí. Contribución a la Geología de Cuba oriental*. Edit. Científico – técnica. La habana.
7. Cabrera C. M. (1997): *Geología de la plataforma insular de Cuba*. CNIG. IGP. La Habana.
8. Campos, M. (1983): *Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de las provincias Holguín y Guantánamo*. Rev. Minería y Geología. Vol. 2. pp 37-87.
9. Capote C; et. al. (1987): *La teledetección aplicada a las investigaciones geológicas*. I.G.P., MINBAS.
10. Carbonell, F; Almiral, J (1989): *Estudio aerofotogeológico y geomorfológico del extremo oriental de Cuba a escala 1:100 000*. Trabajo de Diploma. Dpto de Geología. ISMM
11. Casarreal V, G; Díaz V, O. (1999): *Modelo digital del terreno y uso del criterio geomorfológico para la búsqueda de yacimientos minerales*. Rev. Minería y Geología. N° 3. pp 21-28.
12. Colectivo de autores. (1985): *Informe sobre las condiciones ingeniero – geológicas e hidrogeológicas del esquema regional del aprovechamiento de los recursos hídricos y agrarios de la provincia de Oriente*. INRH.
13. Colectivo de autores. (1976): *Contribución a la geología de Cuba oriental*. ACC-IGP.
14. Colectivo de autores. (1999): *Estudio ingeniero – geológico regional del Polo Turístico de Ramón de Antilla*. CITEC. Inédito.

15. Colectivo de autores. (2000): *Estudio ingeniero – geológico regional del Polo Turístico de Maguana*. CITEC. Inédito.
16. Colectivo de autores. (2001): *Estudio ingeniero – geológico regional del Polo Turístico de Nibujón*. CITEC. Inédito.
17. Colectivo de autores. (2001): *Estudio ingeniero – geológico regional del Polo Turístico de Playa Fundadora*. CITEC. Inédito.
18. Colectivo de autores. (2002): *Estudio ingeniero – geológico regional del Polo Turístico de Yumurí*. CITEC. Inédito.
19. Crespo E. (1996): *Análisis estratigráfico del Oligoceno en Cuba oriental*. Tesis de Maestría. ISMM.
20. Derrau M. (1970): *Geomorfología*. Ed. Ariel S.A. Barcelona.
21. Díaz J. L et. al. (1994): *Elementos geomórficos y ambientales de un territorio montañoso*. Instituto de Geografía tropical. Cuba. 21 pp.
22. Fonseca Z; Salazar, R (1989): *Estudio morfotectónico del extremo oriental de Cuba a escala 1:100 000*. Trabajo de Diploma. Dpto de Geología. ISMM.
23. Franco G. L. (1983): *Observaciones del Neógeno – Cuaternario del extremo oriental de Cuba*. Contribución a la Geología de Cuba oriental. Edit. Científico – técnica. La habana.
24. García J. L. (2003): *Calidad de la producción cartográfica*. Rev. Mapping. N° 84. Madrid. España.
25. Guilarte F. C. (1993): *Tecnología para la creación del modelo digital del relieve y aplicación del análisis morfológico y morfométrico en la investigación ingeniero – geológica regional básica*. EMPI – FAR.
26. Guilarte C; Astráin P. J. (1994): *Sistema complejo de digitalización del relieve. Análisis morfométrico, teledetección de fracturas y detección de estructuras disyuntivas*. UCM. GER-CITEC. Ciudad de la Habana.
27. Gorshkov G; Yakushova A. (1980): *Geología General*. Edit. Mir. Moscú.
28. Gyartmaty P. Et. Al. (1997): *Características de las rocas del arco de islas de la zona Nipe - Cristal – Baracoa*. CNIG. IGP. La Habana.
29. Iturralde V. M. (1978): *Los movimientos tectónicos en el desarrollo platafórmico de Cuba*. Geologie e Mingbow. Holanda.

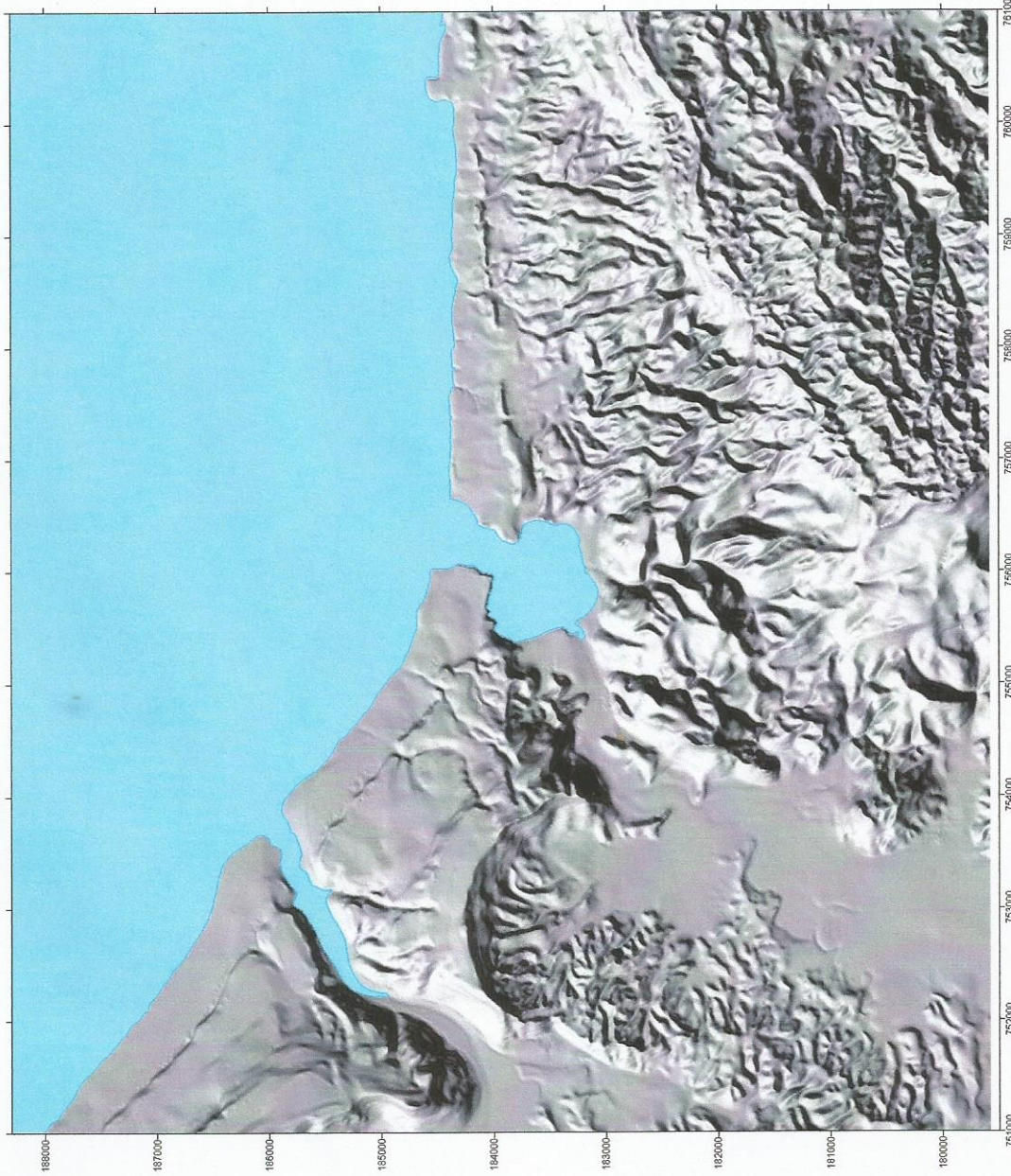
30. Iturralde V. M. (1997): *Sinopsis de la constitución y evolución geológica de Cuba. Museo Nacional de Historia Natural.*
31. Iturralde V. M. (1997): *Introducción a la Geología de Cuba. CNIG. IGP. La Habana.*
32. Klimentov P. P; Kónonov V. M. (1982): *Metodología de las investigaciones hidrogeológicas. Edit. Mir. Moscú.*
33. Kolomensky N. V. (1984): *Metodología general de las investigaciones ingeniero geológicas. Vresh Torgizdat. Editorial Niedra. Moscú.*
34. Kromberg P. (1988): *Estudio de la tierra por teledetección. Principios y métodos de la teledetección en Geología. Ed. Mir. Moscú.*
35. Leslie M. L. (1978): *Fundamentos del mapa hidrogeológico del arco cubano. Rev. Voluntad Hidráulica.*
36. *Léxico estratigráfico de Cuba. (1990): IGP - ACC*
37. Lillesand T.M, Kiefer R.W. (1979): *Reviste sensing and image interpretation. John Wiley and sons. 1979.*
38. Linsley J. R. et. al (1973): *Hidrogeología para ingenieros. Instituto Cubano del Libro. La Habana.*
39. Lomtadze V.D. (1978): *Ingeniería Geológica. Ed. Niedra. Moscú.*
40. *Mapa e informe geológico del polígono CAME V. (1981): Guantánamo. ACC – AC Hungría.*
41. *Mapa Geológico de la república de Cuba. Escala 1: 500 000. (1989): IGP, AC de la URSS e Instituto de Geología.*
42. *Mapa geológico de Cuba a escala 1:250 000. ACC – MINBAS.*
43. *Mapa Tectónico de Cuba. Escala 1: 500 000. ACC de Cuba. (1989): IGP, AC de la URSS e Instituto de Geología.*
44. Meyerink A. M, Brouwer H. A. *Introduction to the use of geographie information systems for practical hidrology. International Institute for aerospace survey and earth sciences (ITC). Netherlands.*
45. Mekel J. F. (1970): *El empleo de la fotografía aérea en el levantamiento geológico. International Institute for aerial survey and earth science delft. Netherlands.*
46. Menkhouse F.J, Wilkinson H.R. (1966): *Mapas y diagramas: técnicas de elaboración y trazado. Ed. Alkus – Tau. Barcelona.*

47. Nagy E. (1983): *La depresión paleogénica de Baracoa – Mata. Contribución a la Geología de Cuba oriental. Edit. Científico – técnica. La Habana.*
48. Nagy E. (1983): *Ensayo de las zonas estructuro faciales de Cuba oriental. Edit. Ciencia y Técnica. ACC. La Habana.*
49. Núñez Jiménez A. et. al. (1984): *Cuevas y Carso. EMFAR.*
50. Nagy. E, (1976): *Características geológicas de la Cuenca de Mata. ACC.*
51. Orbera H. L. (1985): *Neotectónica y sismicidad de Cuba oriental. Tesis de doctorado.*
52. Pérez M. C. (1997): *Grado de estudio fotogeológico. CNIG. IGP. La Habana.*
53. Pérez N. N. (1983): *Aspectos ingeniero – geológicos de Cuba Oriental. Contribución a la Geología de Cuba oriental. Edit. Científico – técnica. La Habana.*
54. Quintas C. F (1987): *Nuevos datos faciales y estructurales de la provincia Guantánamo. Rev. Minería y Geología. N° 3. pp. 30-34.*
55. Quintas C. F (1988): *La formación Mícará, clave para la interpretación de la geología histórica pre-paleocénica de Cuba oriental. Rev. Minería y Geología. Vol 6. N° 1.*
56. Quintas C. F. (1989): *Análisis estratigráfico y paleogeográfico del Cretácico superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis de Doctorado. ISMM.*
57. Reyes R.G. (2003): *Análisis geomórfico – ambiental de la Subcuenca hidrográfica del Río Hanabanilla, Cuba Sur-central. Rev. Mapping. N° 84. Madrid. España. Pp 52-65.*
58. Spiridonov A. I. (1976): *Principios básicos de la metodología general de los estudios geomorfológicos de campo y mapificación geomorfológica. Ed. Mir. Moscú.*
59. Thornbury D. W. (1983): *Principios de Geomorfología. Edit. Pueblo y Educación.*

ANEXOS GRAFICOS

RELACIÓN DE ANEXOS

<i>No.</i>	<i>Nombre</i>
1	<i>Mapa de relieve sombreado.</i>
2	<i>Mapa de ordenamiento territorial.</i>
3	<i>Mapa de pronóstico del Carso.</i>
4	<i>Mapa Zonación Geomorfológica.</i>
5	<i>Mapa Ingeniero – geológico a escala 1: 10.000.</i>
6	<i>Mapa de jerarquización de bloques ingeniero – geológicos.</i>
7	<i>Mapa de cinemática de bloques.</i>
8	<i>Mapa de isoestratas.</i>
9	<i>Mapa de potencia de la zona de aereación.</i>
10	<i>Mapa de potencia de suelo.</i>
11	<i>Mapa de resistencia a la compresión.</i>
12	<i>Mapa de clasificación ingeniero – geológica preliminar.</i>
13	<i>Mapa litológico evaluado.</i>
14	<i>Mapa de densidad de fracturas evaluado.</i>
15	<i>Mapa de empantanamiento.</i>
16	<i>Mapa de deslizamientos evaluado.</i>
17	<i>Mapa de pendientes evaluado.</i>
18	<i>Mapa de carso evaluado.</i>
19	<i>Mapa de conveniencia para Cimentaciones.</i>
20	<i>Mapa de pronóstico de inundaciones.</i>



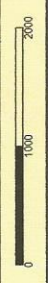
SIMBOLOGIA

- CAMPOS DE GOLF
- PARCELAS
- SERVICIOS EXTRAHOTELEROS PUNTUALES
- BASE NAUTICA
- ASENTAMIENTOS POBLACIONALES
- ASENTAMIENTO TURISTICO
- CLUB HIPICO
- LIMITE DEL POLO
- LINEA FERREA
- CARRETERA
- VIALES PROPUESTOS
- NUCLEO PRINC. DE SERV. EXTRAHOTELEROS
- OTROS VIALES


















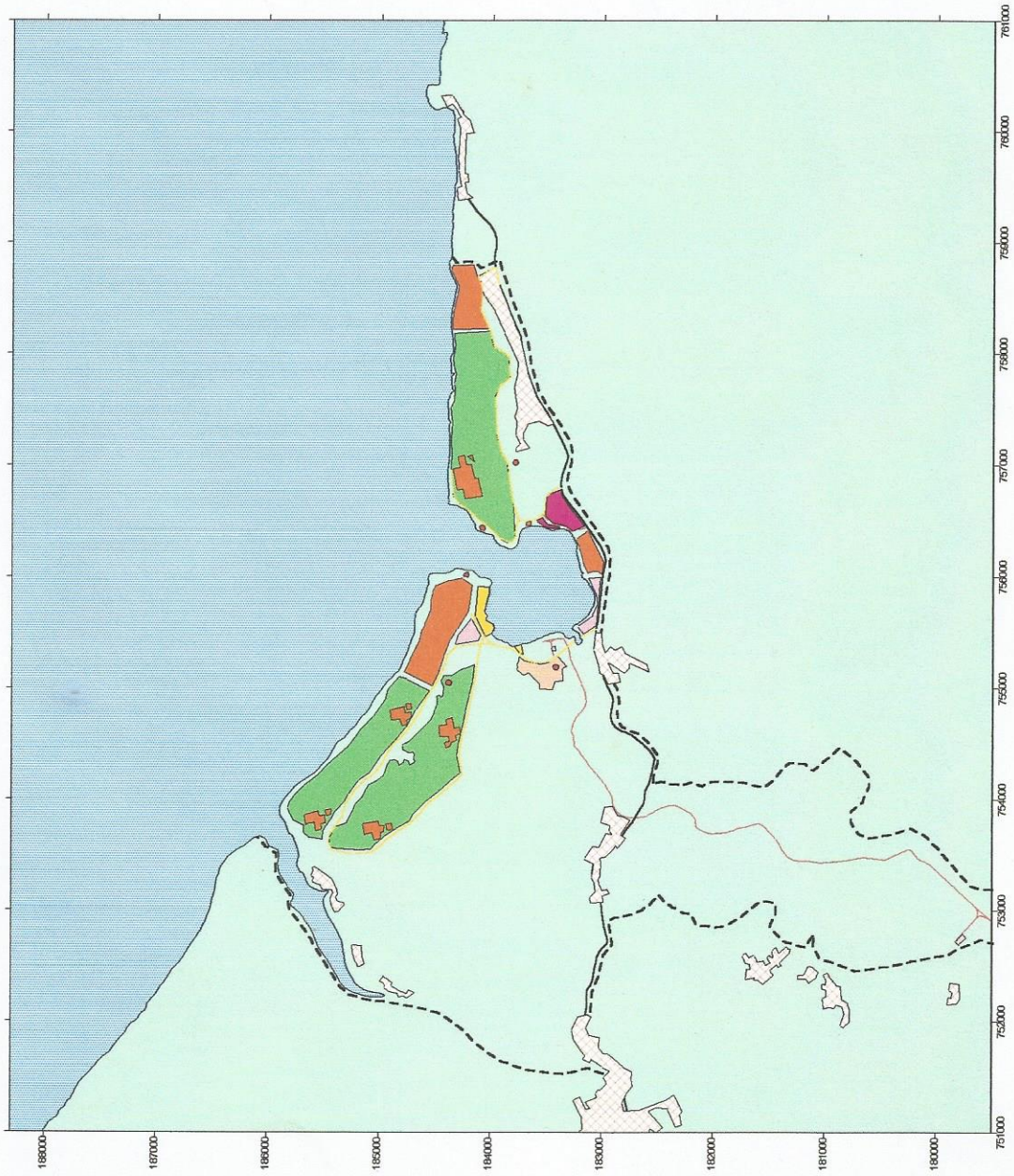
MAPA DE RELIEVE SOMBRREADO

1



SIMBOLOGIA

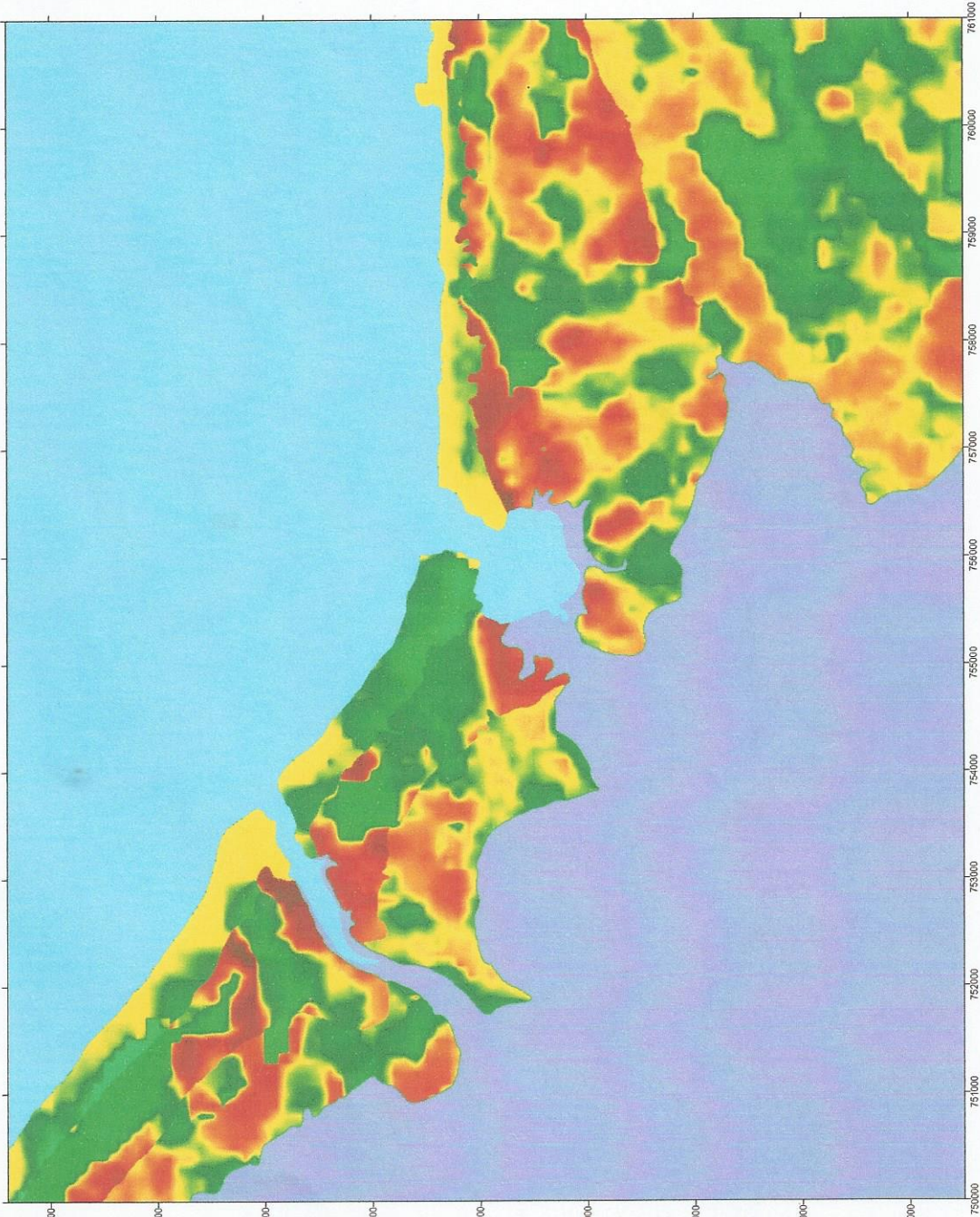
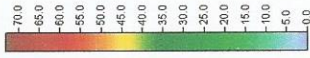
-  OCEANO ATLANTICO
-  ZONA CONTINENTAL
-  CAMPOS DE GOLF
-  PARCELAS
-  SERVICIOS EXTRAHOTELEROS PUNTUALES
-  BASE NAUTICA
-  ASENTAMIENTOS POBLACIONALES
-  ASENTAMIENTO TURISTICO
-  CLUB HIPICO
-  LIMITE DEL POLO
-  LINEA FERREA
-  CARRIETERA
-  VALES PROPUESTOS
-  NUCLEO PRINC. DE SERV. EXTRAHOTELEROS
-  OTROS VALES



MAPA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL
PROPUESTO

2



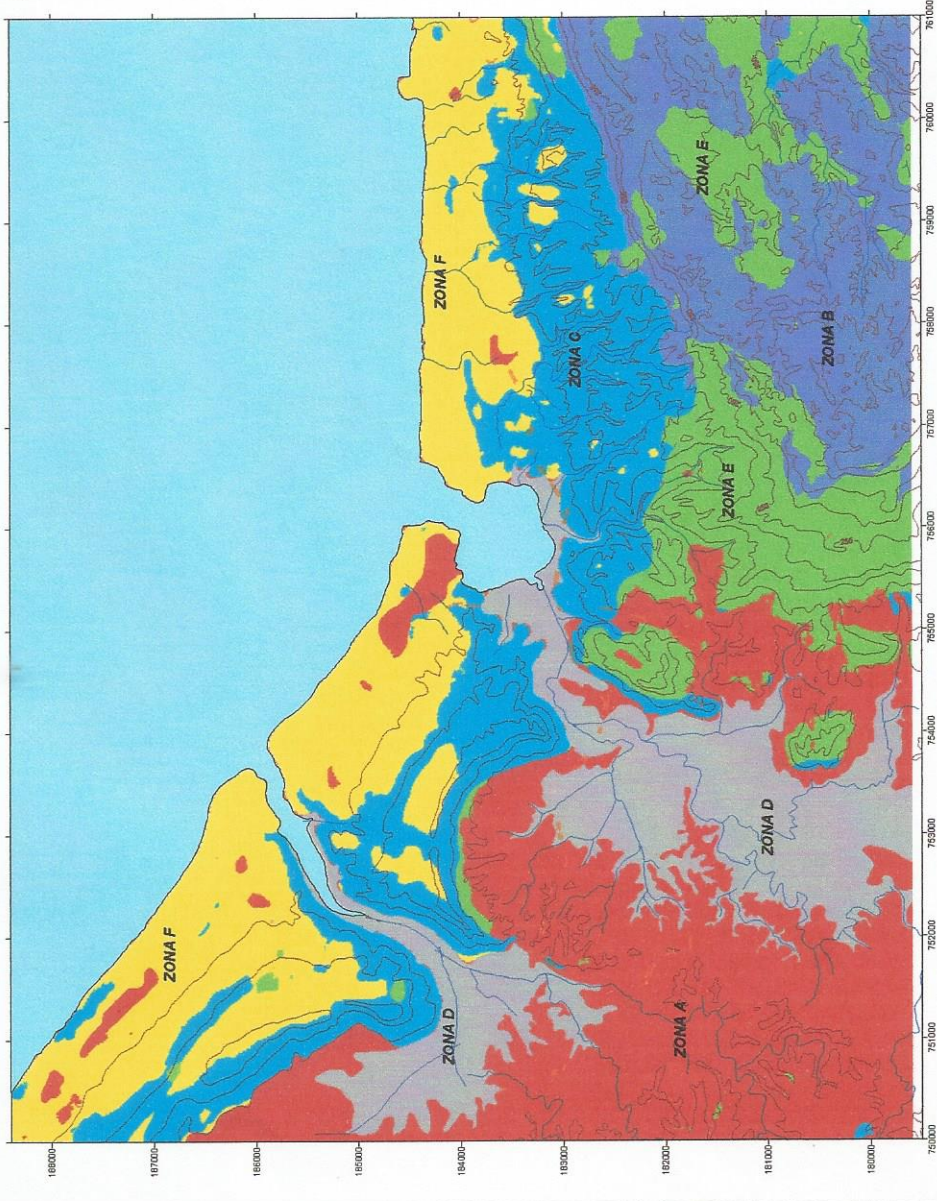


MAPA DE PRONOSTICO DEL CORSO 3



PRINCIPALES ESTADIGRAFOS DE LAS VARIABLES MORFOMETRICAS.

ZONA	Área	Perímetro	Medida	Medida	Medida	Medida	Medida	Medida	Medida
ZONA A	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000
Cota Media .gnd	0.85	128.77	53.08	20.18	35.96	1.17	4.77	17.75	55.96
Inclinación vertical .gnd	0.00	82.89	0.84	1.79	4.77	1.17	4.77	17.75	55.96
Inclinación horizontal .gnd	0.00	3203.00	442.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Pendientes .gnd	0.01	24.74	11.75	8.28	70.08	1.17	4.77	17.75	55.96
ZONA B	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000
Cota Media .gnd	128.22	481.57	328.98	78.82	21.47	1.17	4.77	17.75	55.96
Inclinación vertical .gnd	20.75	65.12	11.41	1.02	35.14	1.17	4.77	17.75	55.96
Inclinación horizontal .gnd	16.00	689.00	85.00	78.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Pendientes .gnd	0.41	70.24	21.76	10.25	26.99	1.17	4.77	17.75	55.96
ZONA C	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000
Cota Media .gnd	3.15	254.16	85.10	43.67	50.71	1.17	4.77	17.75	55.96
Inclinación vertical .gnd	6.80	772.14	63.86	27.74	39.75	1.17	4.77	17.75	55.96
Inclinación horizontal .gnd	0.00	2650.00	153.00	125.00	41.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Pendientes .gnd	0.30	62.17	19.76	9.40	25.10	1.17	4.77	17.75	55.96
ZONA D	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000
Cota Media .gnd	1.15	40.15	7.15	4.01	36.05	1.17	4.77	17.75	55.96
Inclinación vertical .gnd	0.25	95.89	12.61	14.41	114.29	1.17	4.77	17.75	55.96
Inclinación horizontal .gnd	0.00	6181.00	853.00	1027.00	111.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Pendientes .gnd	0.00	35.85	2.41	3.75	105.98	1.17	4.77	17.75	55.96
ZONA E	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000
Cota Media .gnd	27.54	427.34	215.33	57.92	42.47	1.17	4.77	17.75	55.96
Inclinación vertical .gnd	6.62	104.01	68.00	24.95	35.27	1.17	4.77	17.75	55.96
Inclinación horizontal .gnd	0.00	1571.00	323.00	172.00	11.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Pendientes .gnd	0.02	76.11	18.69	9.36	50.09	1.17	4.77	17.75	55.96
ZONA F	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000
Cota Media .gnd	0.87	248.75	42.42	41.59	84.05	1.17	4.77	17.75	55.96
Inclinación vertical .gnd	2.89	81.97	24.12	11.15	50.40	1.17	4.77	17.75	55.96
Inclinación horizontal .gnd	0.00	72.00	36.00	27.15	30.69	1.17	4.77	17.75	55.96
Pendientes .gnd	0.00	23.17	5.39	4.89	87.05	1.17	4.77	17.75	55.96
ZONA G	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000	187000
Cota Media .gnd	0.00	49.41	5.73	6.34	53.24	1.17	4.77	17.75	55.96

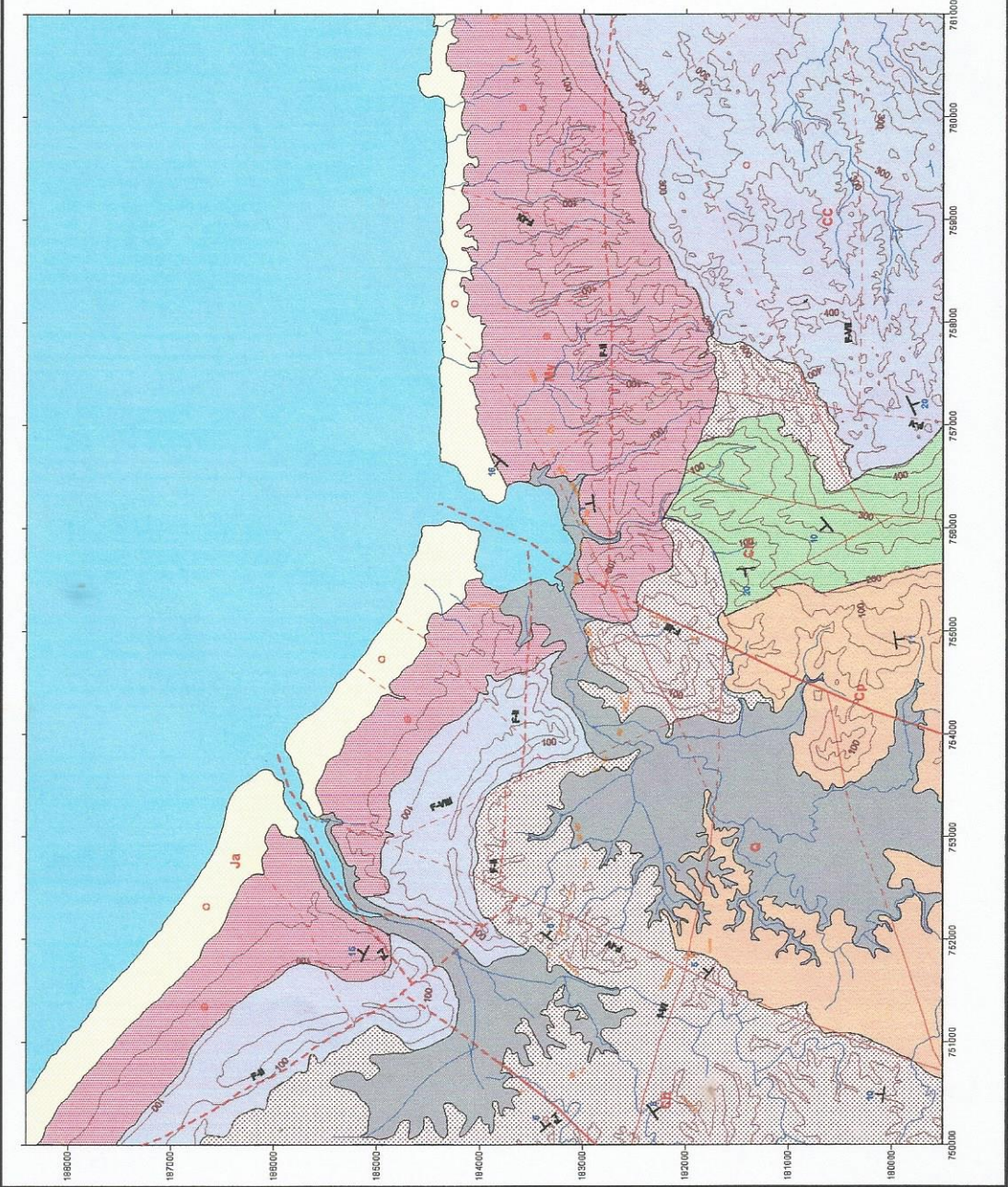


- SIMBOLOGIA**
- ZONA Zonas geomorfológicas
 - Escarpas
 - Principales rios
 - Curvas de nivel

GEI

MAPA DE ZONACION GEOMORFOLOGICA **4**

1000 2000



- SIMBOLOGIA**
- Formación Jalmanitas
 - Formación Maya
 - Formación Cabo Cruz
 - Formación Cabaed
 - Formación Capiro
 - Formación Castillo de los Indios
 - Sedimentos del Cuaternario
 - Fallas de 1er orden aflorantes y cubiertas
 - Fallas de 2do orden aflorantes y cubiertas
 - Fallas de 3er orden aflorantes y cubiertas
 - Elementos de yecencia
 - Escarpas
 - Principales ríos
 - Curvas de nivel
 - Cerso superficial
 - Cerso superficial y subterráneo

COMPLEJOS LITOLÓGICOS	MAYALCAYO				NEOGENO				CUATERNARIO				DESCRIPCION DE LAS LITOLOGIAS	GENESIS	
	Ph	Pi	Pj	Ph	Ni	Nj	Nk	Qa	Qb	Qc	Qd	Qe			Qf
CDP														Arenas, gravas, limas y arcillas	Sedimentación marítima, palustre, aluvial y eólica
CT														Conglomerados pedregales, arenolitas, areniscas y lutitas	Aluviales cuaternarios
CC														Cuilces organolépticas y calcáreas	Calizas de origen marino
CTS														Tobos fósiles calcáreas, lutitas y solas calcáreas	Rosas de las arcas volcánicas

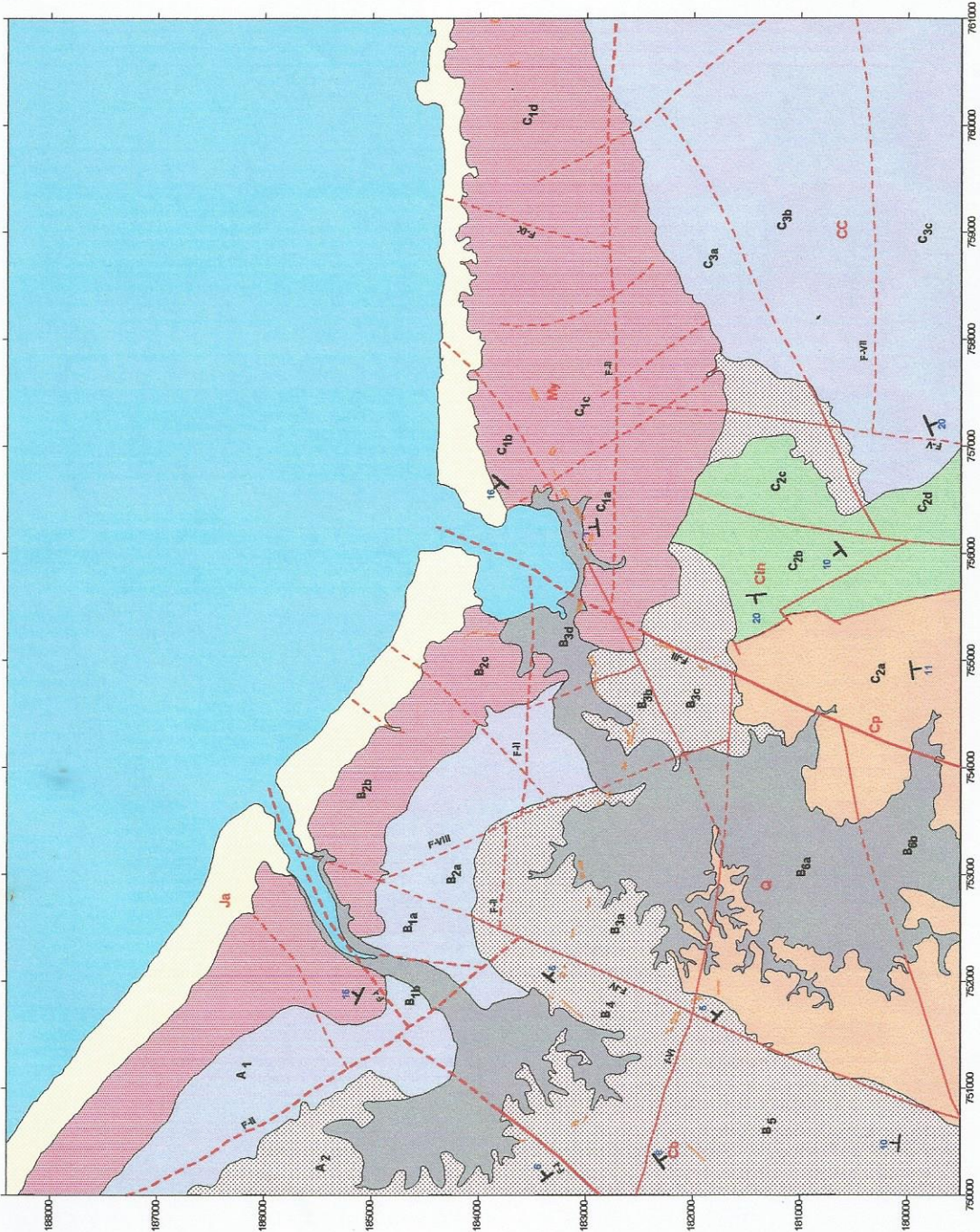
Distribución y descripción esquemática de los complejos litológicos

MAPA INGENIERO - GEOLOGICO

5

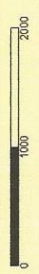
SIMBOLOGIA

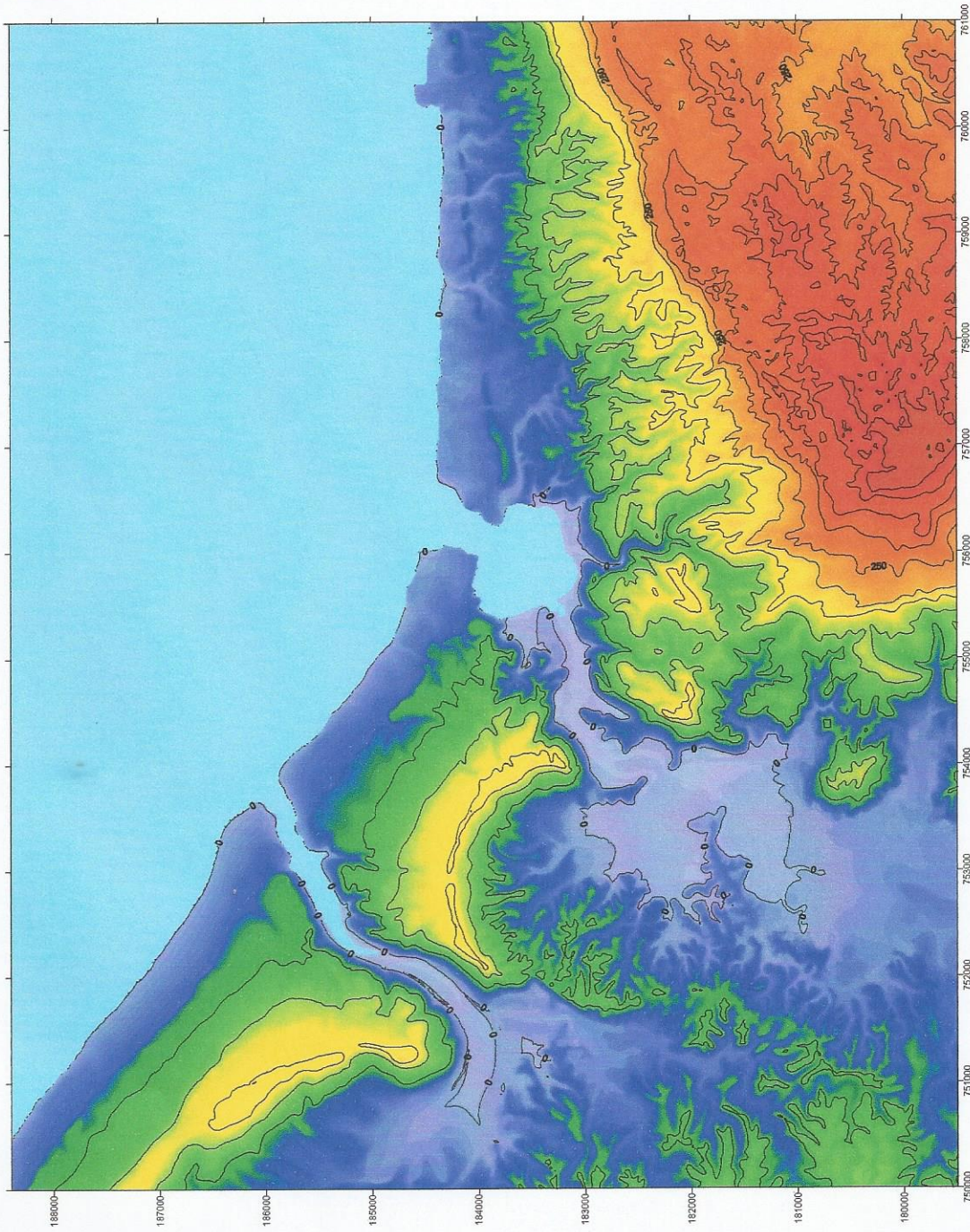
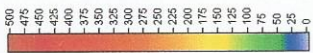
- Formación Jaimanitas
- Formación Maya
- Formación Cabo Cruz
- Formación Cabarcú
- Formación Capiro
- Formación Castillo de los Indios
- Sedimentos del Cuaternario
- Fallas de 1er orden aflorantes y cubiertas
- Fallas de 2do orden aflorantes y cubiertas
- Fallas de 3er orden aflorantes y cubiertas
- Elementos de yacencia
- Escarapes
- Principales ríos
- Curvas de nivel
- Macrobloque
- Mesobloque
- Microbloque





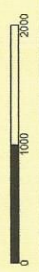
CINEMATICA DE BLOQUES 7

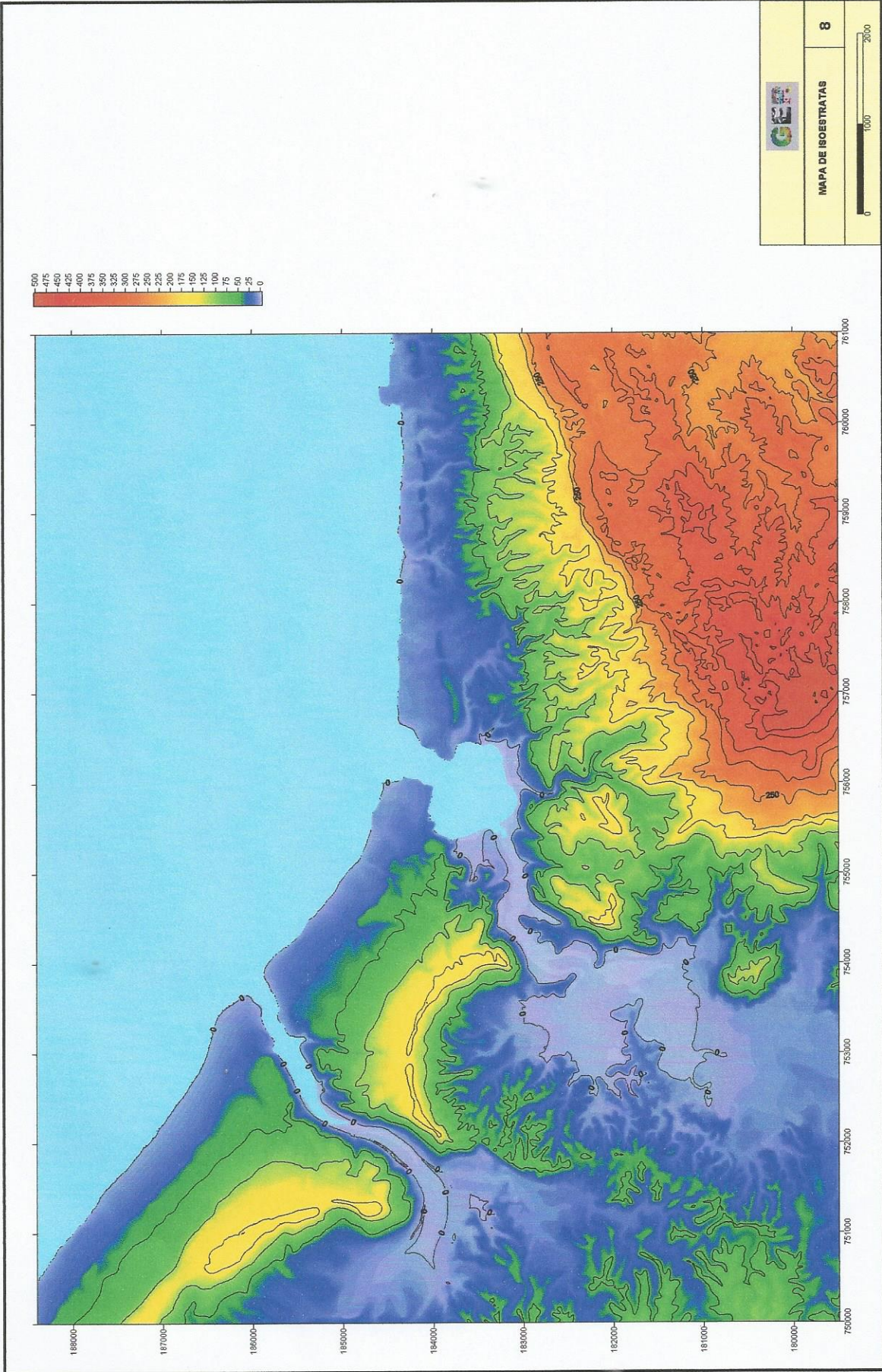
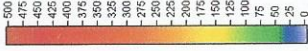




MAPA DE ISOESTRATAS

8

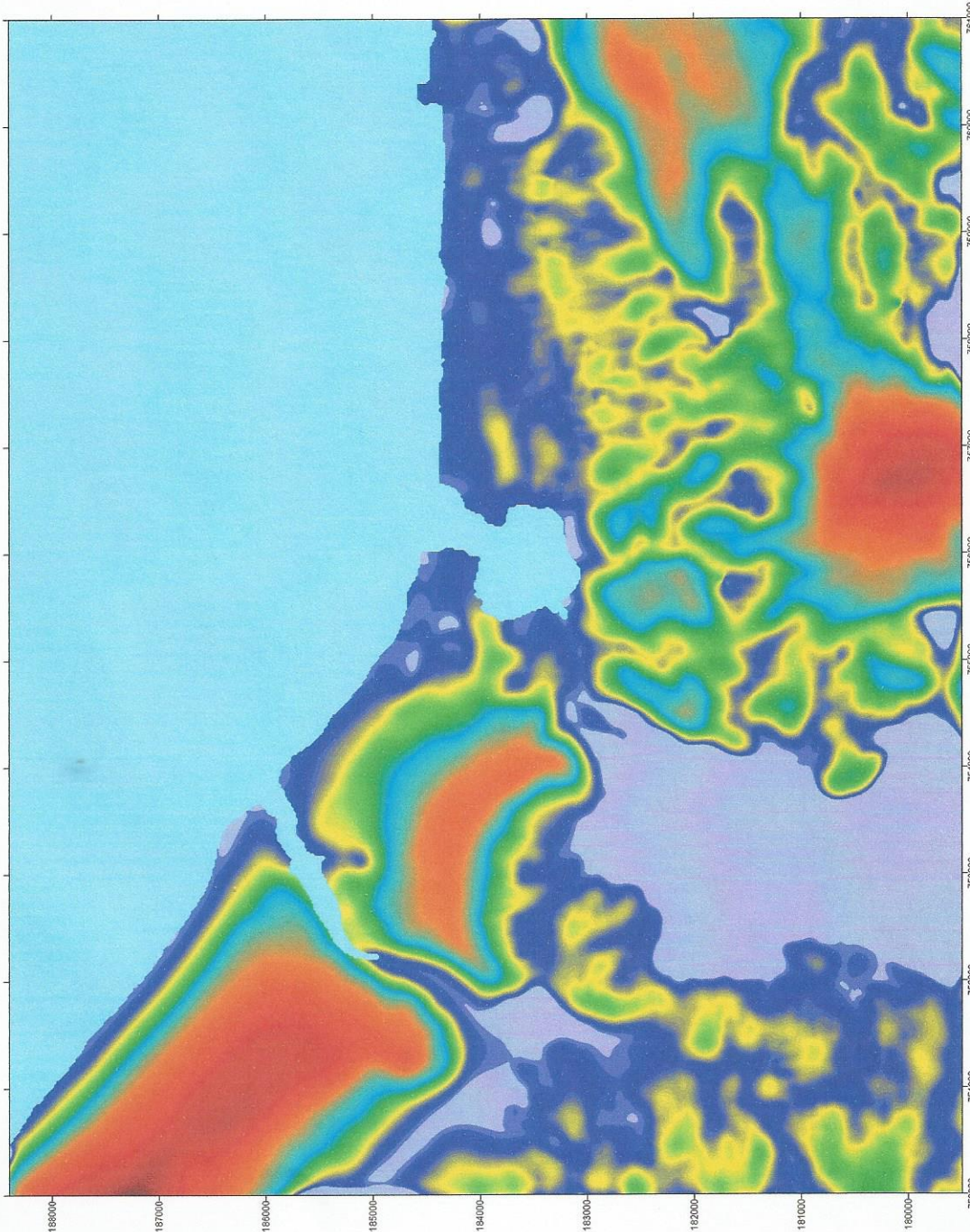
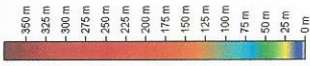




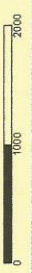
MAPA DE ISOESTRATAS

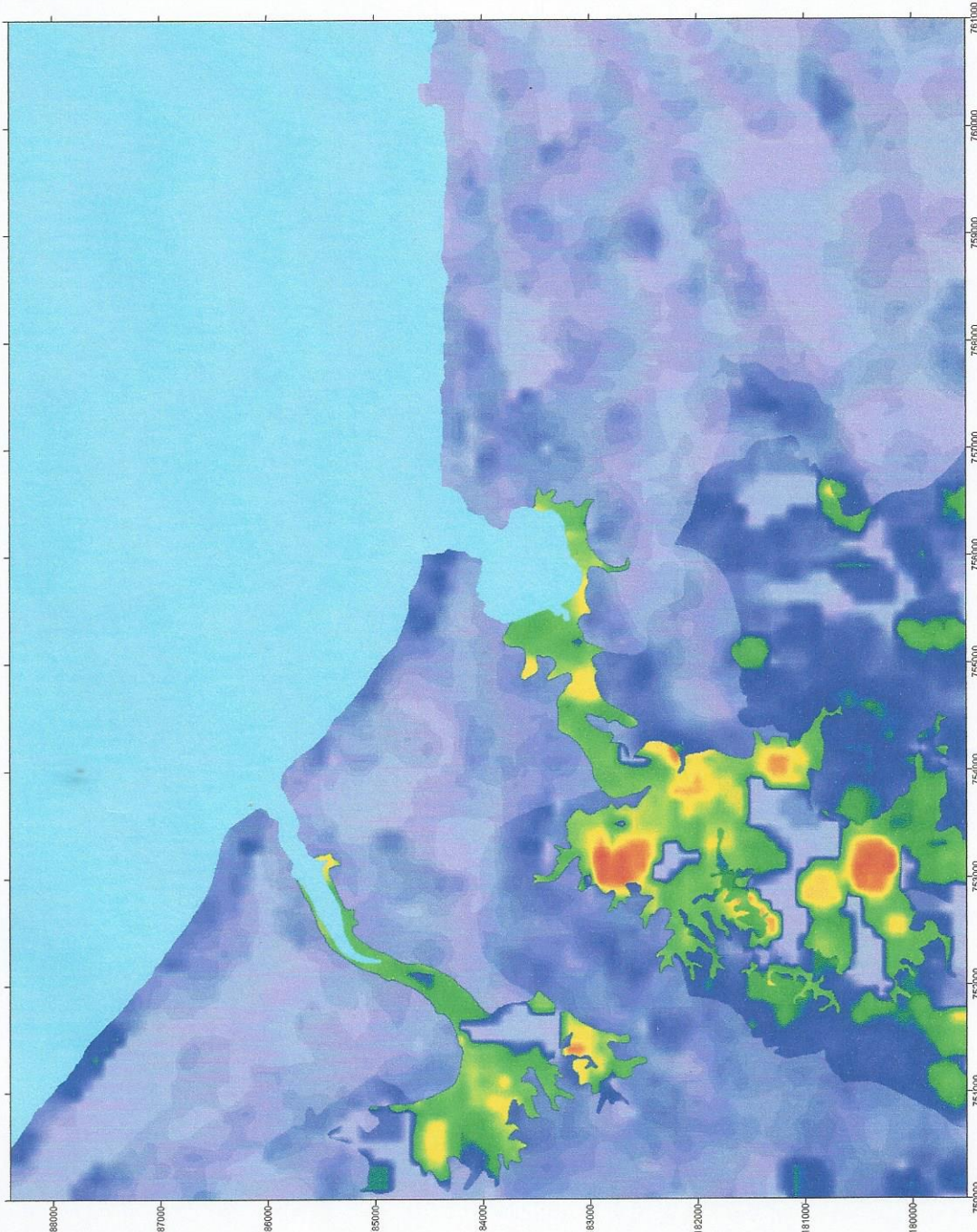
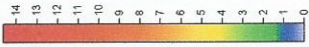
8



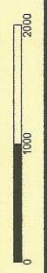


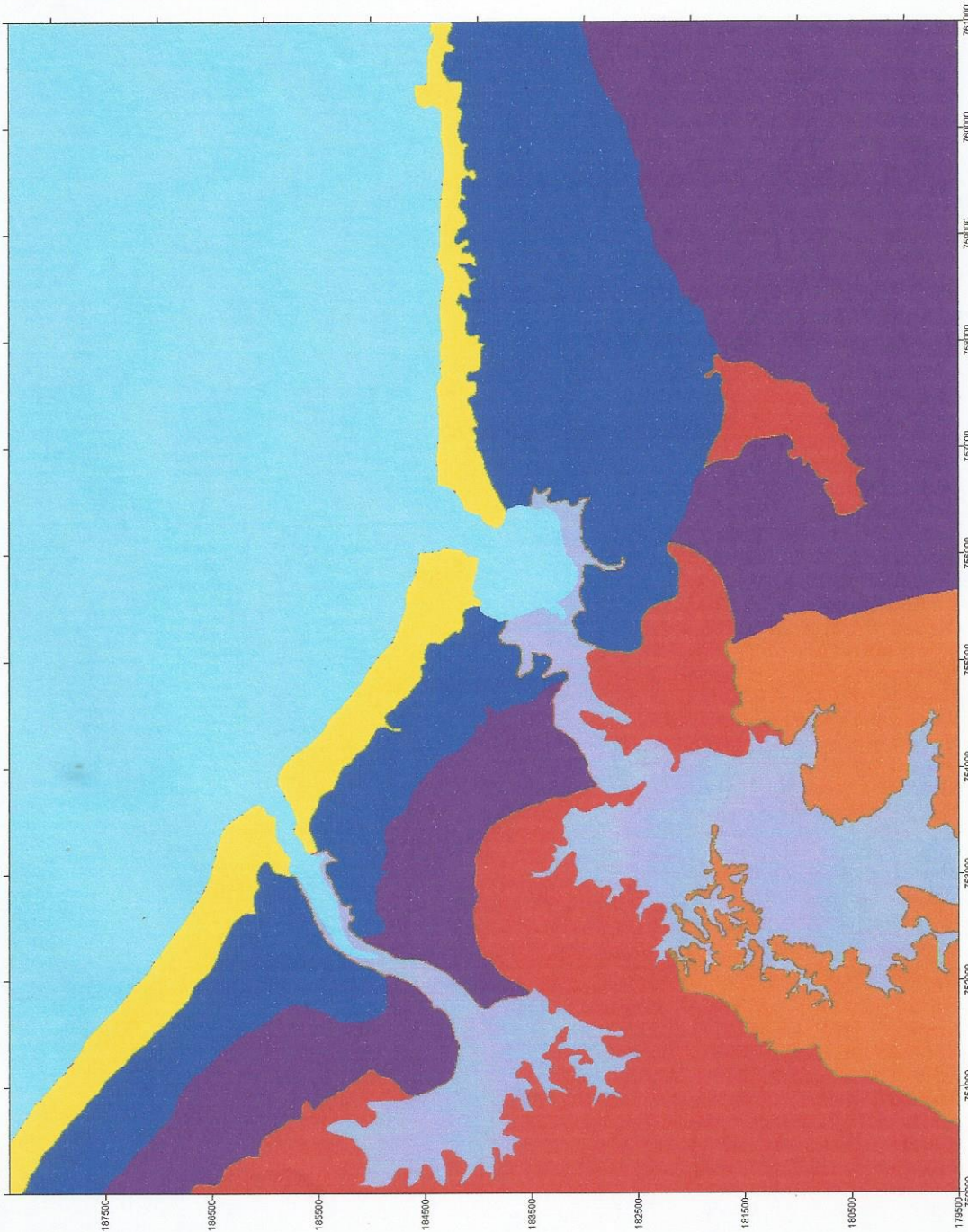
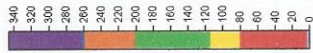
MAPA DE POTENCIA
DE LA ZONA DE AEREAACION





MAPA DE POTENCIA DE SUELOS 10





RESISTENCIA A LA COMPRESION

11

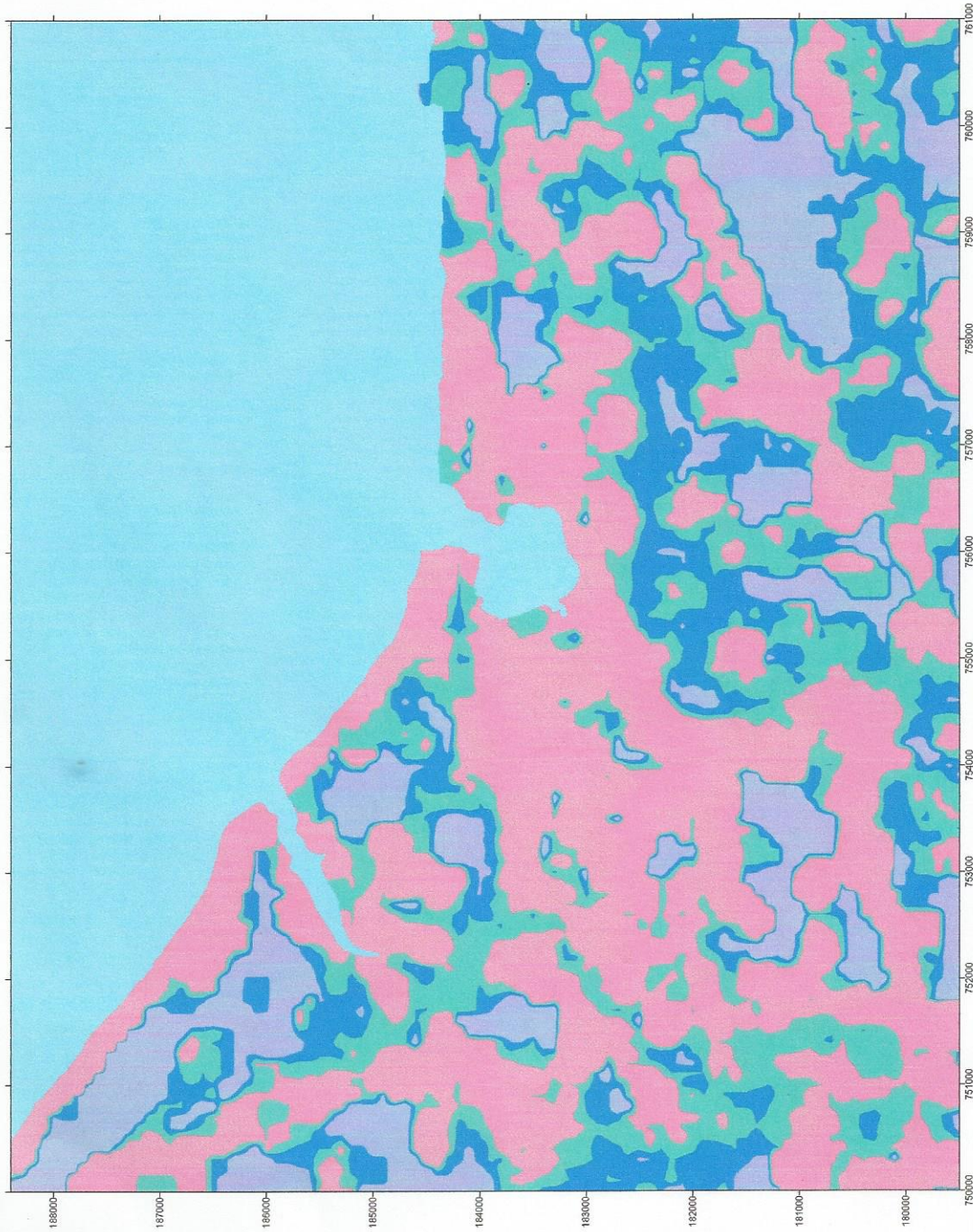


188000- 187000- 186000- 185000- 184000- 183000- 182000- 181000- 180000- 750000 751000 752000 753000 754000 755000 756000 757000 758000 759000 760000 761000

MAPA LITOLÓGICO EVALUADO

13

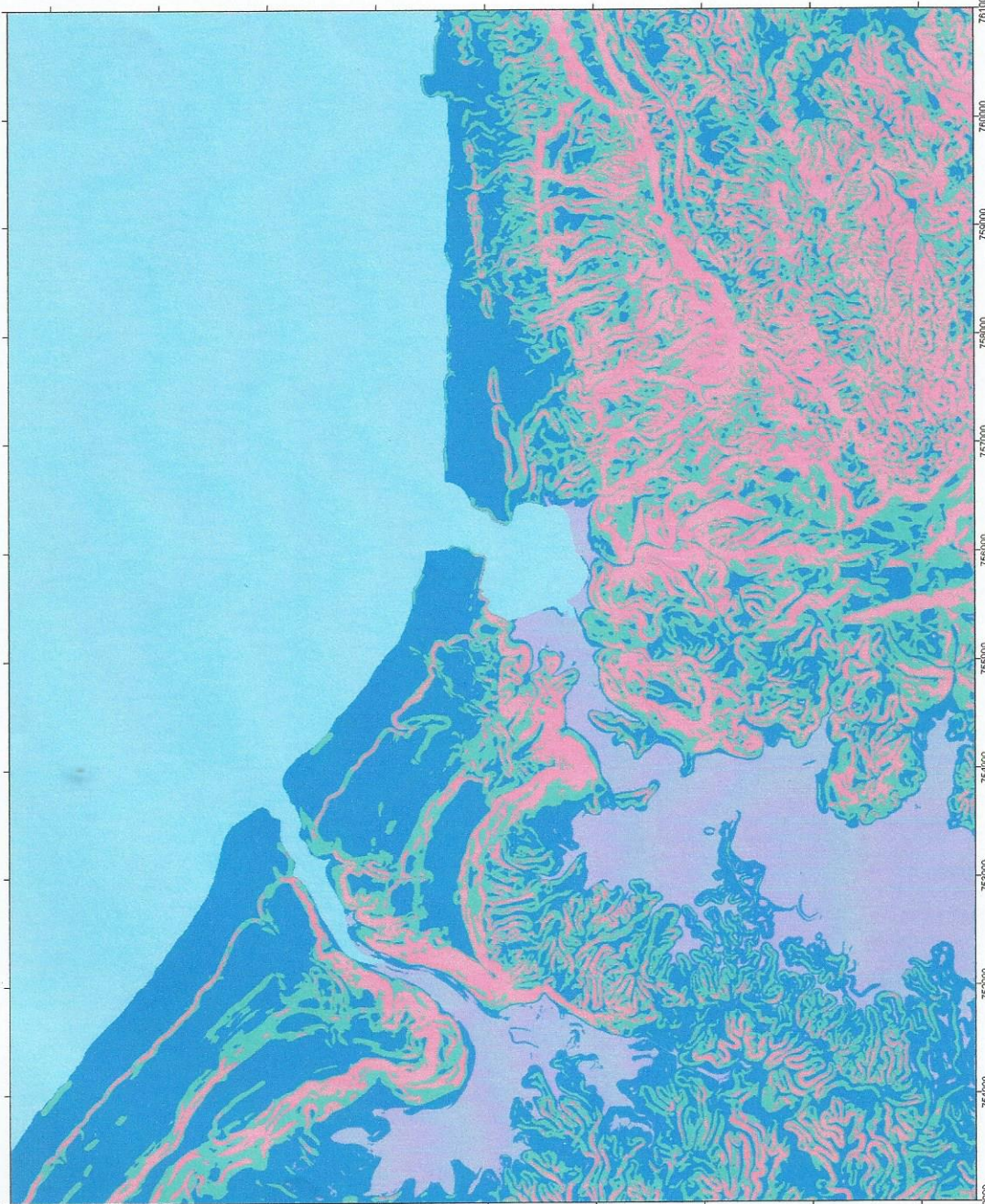
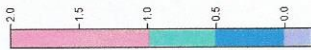
0 1000 2000



MAPA DE DENSIDAD DE FRACTURAS EVALUADO

14

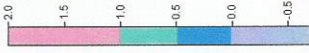




MAPA DE POSIBLES ZONAS DE EMPANTAMIENTO

15



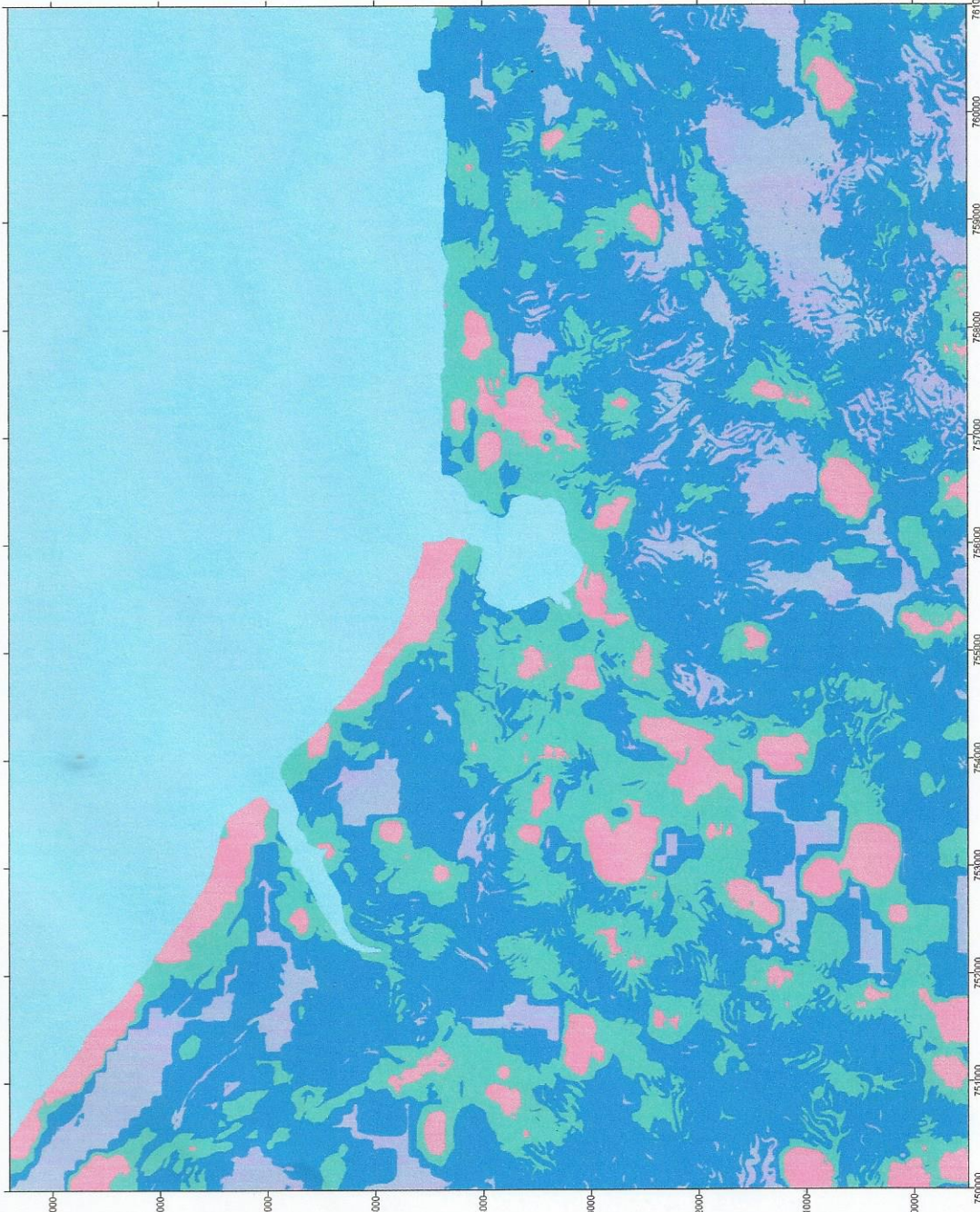


Conveniencia Buena

Conveniencia Regular a Buena

Conveniencia Mala a Regular

Conveniencia Mala



1880000 1870000 1860000 1850000 1840000 1830000 1820000 1810000 1800000

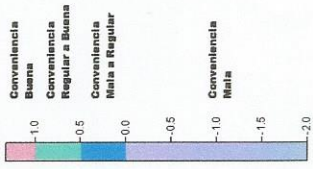
750000 751000 752000 753000 754000 755000 756000 757000 758000 759000 760000



MAPA DE POSIBLES ZONAS DE DESPLAZAMIENTOS

16

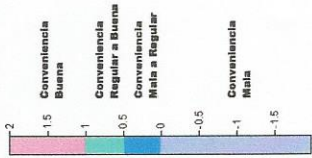



















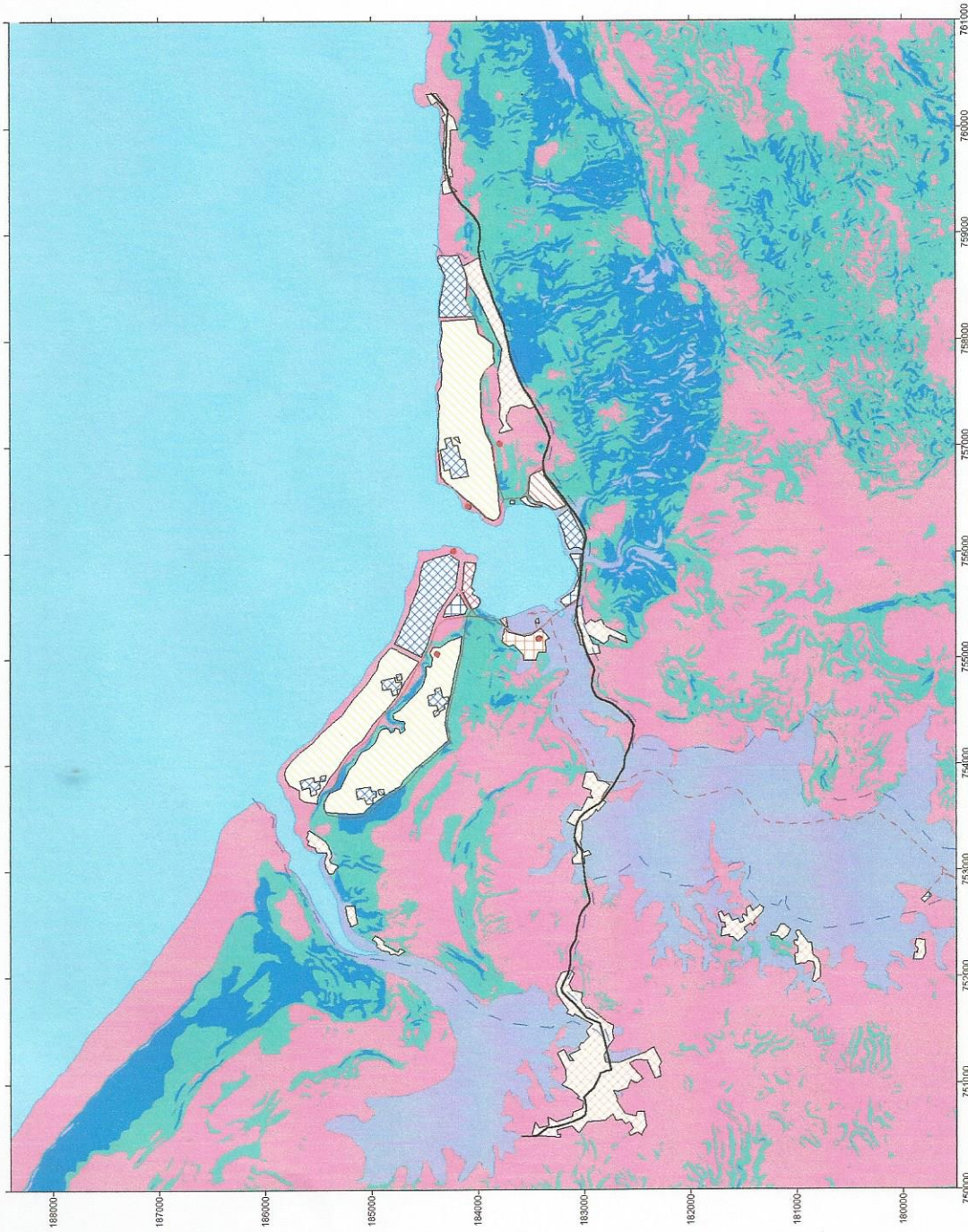
MAPA DE CARBO EVALUADO 18





SIMBOLOGIA

-  CAMPOS DE GOLF
-  PARCELAS
-  SERVICIOS EXTRAHOTELEROS PUNTUALES
-  BASE NAUTICA
-  ASENTAMIENTOS POBLACIONALES
-  ASENTAMIENTO TURISTICO
-  CLUB HIPICO
-  LIMITE DEL POLO
-  LINEA FERREA
-  CARRETERA
-  VIALES PROPUESTOS
-  NUCLEO PRINC. DE SERV. EXTRAHOTELEROS
-  OTROS VIALES



MAPA DE CONVENIENCIA PARA
CIMENTACIONES



PARÁMETROS EMPLEADOS PARA EL CÁLCULO DE INUNDACIONES

Borrar
 Guardar

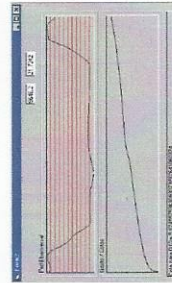
P.T.C. [CV Proyecto Baha de Manzanillo] P.C. [CV Proyecto Baha de Manzanillo] P.C. [CV Proyecto Baha de Manzanillo]

Pendiente: [0.002] Coeficiente de rugosidad: [0.14]

Pazo: [5] Coeficiente de Coloidal: [1.4] Coloidal: [63.919]

Área de la cuenca: [6351783.1]

Hacer



ÁREA DE LA CUENCA

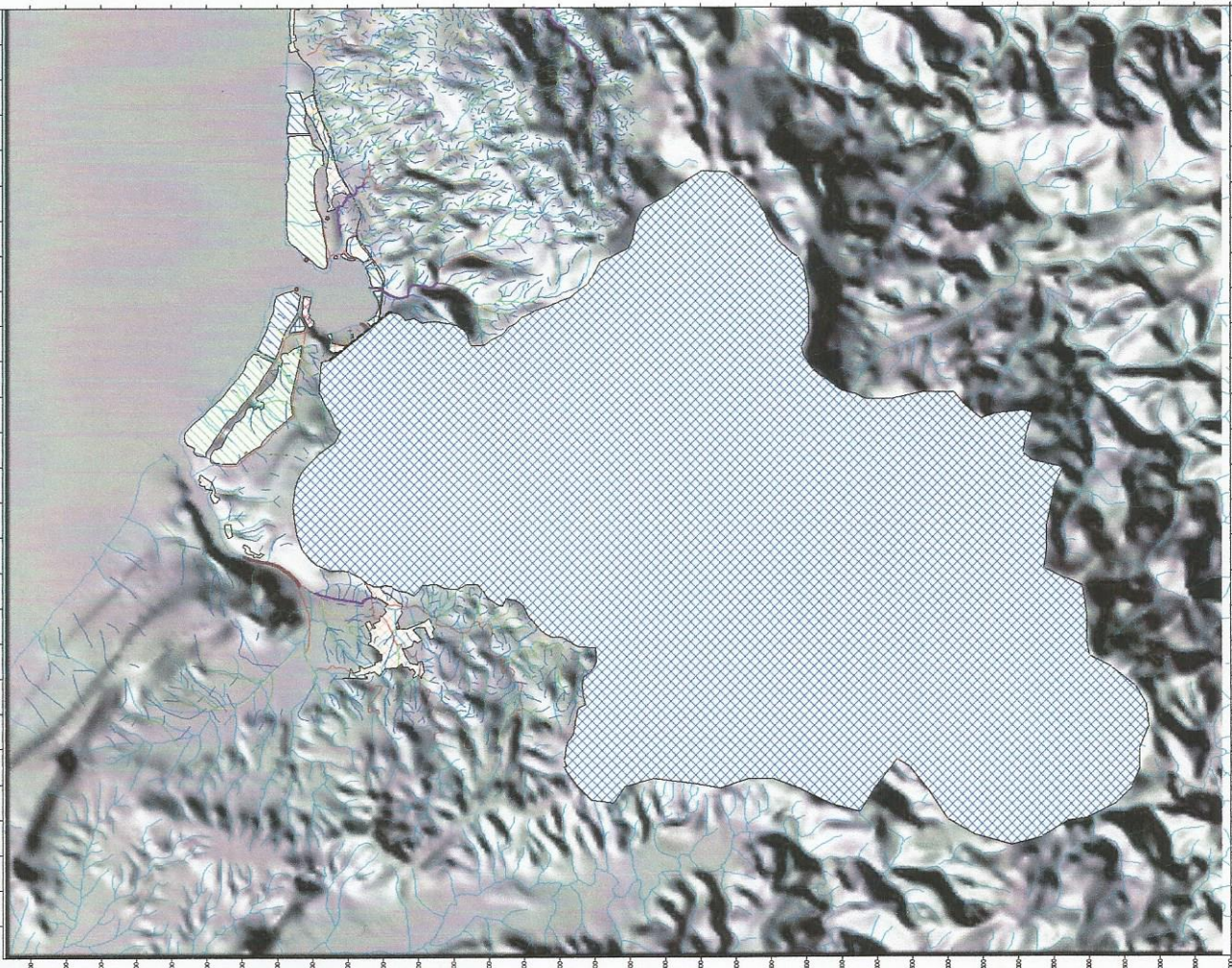


ZONA INUNDADA PARA 1% DE PROBABILIDAD



SIMBOLOGÍA

- CAMPOS DE SALT
- FANDELES
- SERVICIOS ESTERILIZADOS Y FORTALES
- BARRIADAS
- ASENTAMIENTOS PUEBLOS
- ASENTAMIENTOS TURÍSTICOS
- CLUBES
- LUMES DEL POLO
- LINEA FERREA
- CARRETERA
- VIVIENDAS
- INCILOS / PISC. DE SERV. ESTERILIZADOS
- OTROS VALLES



MAPA DE PROSPECTO DE INUNDACIONES

20

Escala: 1:100000