

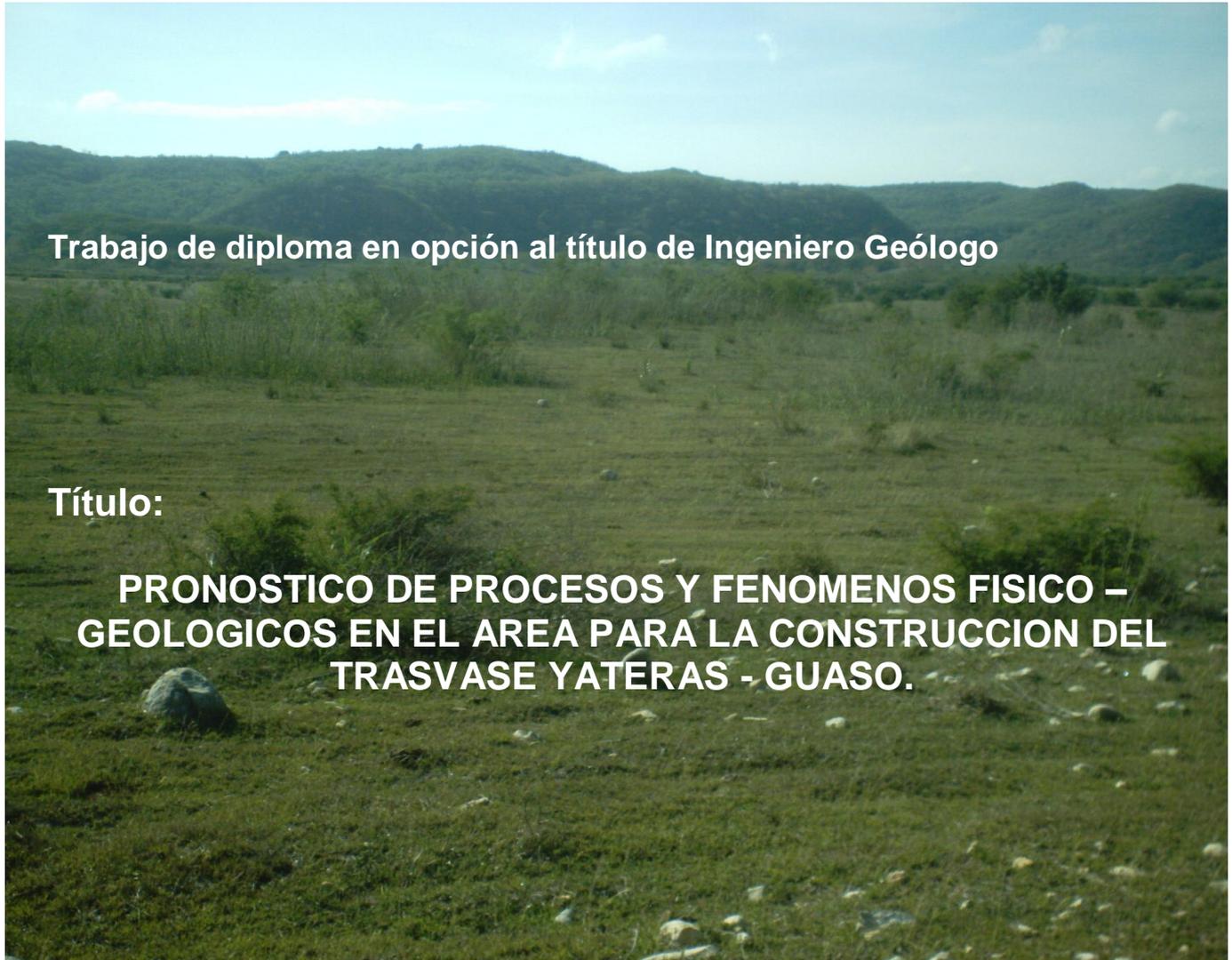


MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA



Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Geólogo

Título:

**PRONOSTICO DE PROCESOS Y FENOMENOS FISICO –
GEOLOGICOS EN EL AREA PARA LA CONSTRUCCION DEL
TRASVASE YATERAS - GUASO.**

Diplomante: Yoniel Torres Cabrera

Tutores: Ms.c. Norge M. Carralero Castro.

Dra. Alina Rodríguez Infante.

Julio del 2009

AGRADECIMIENTOS

- Quiero agradecer de forma sincera a todas aquellas personas que han puesto su empeño y dedicación porque este trabajo se realice. Quiero dar gracias a mis tutores por dirigir y orientar este trabajo hasta el punto de terminar este trabajo satisfactoriamente.
- Agradezco a mis padres Belquis y Humberto por ayudarme tanto en toda mi vida de estudiante y en todo momento.
- Al Ms.C. Norge M. Carralero Castro en primera por ser mi tutor y luego por disponer todos sus conocimientos en función de que este trabajo tuviera la mejor calidad, además por las horas que dedicó caminando en el campo estudiando la zona. A la Dra. Alina Rodríguez Infante por ser una maravillosa tutora, por su voluntad de apoyarme cuando de verdad fue necesario, por revisar este trabajo para su mejoría. Gracias
- A los profesores del departamento de geología de la universidad de Moa que nos han enseñado, aconsejado y guiado por el sendero correcto
- A mis compañeros de aula con los cuales compartí inolvidables momentos en estos cinco años de la carrera.
- A mi familia en general y en especial a mi hermano ,a mis abuelos, tíos, primos, a mis amigos Belquis Salomón y Jorge Trinchet que me ayudaron mucho, a mis primos Oneylis y Jorgito, gracias por su apoyo.
- A los compañeros de la Agencia de Investigaciones Regionales, Norge, Andrés, Carlos, Rosi, Marisel, Leticia, Norge Parra, Dania, Yaniuska, Daniuska, Yamile, Adria, Lucia, Maite, Yulita, Arnaldo, Yoni, Ernesto, Ismael y Sandro, en fin a todos.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de diploma especialmente a mis padres que me ofrecieron todo lo necesario, su ayuda, apoyo y comprensión en los momentos mas difíciles para que este proyecto se llevara a cabo. Para ellos y para todos los que me han guiado por el camino correcto y me han brindado su apoyo durante toda mi vida de estudiante, a toda mi familia, a mis compañeros, profesores y amigos... Gracias.

PENSAMIENTO

El sol no es más necesario que el establecimiento de la enseñanza elemental científica.

José Martí

INDICE

RESUMEN	3
INTRODUCCION	5
CAPÍTULO I. LOCALIZACIÓN, RASGOS FISIOGRAFICOS Y GEOLÓGICOS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.	8
I.1- Ubicación y características físicos geográficas	8
I.1.1.- Ubicación geográfica	8
I.1.2.- Clima	9
I.1.3.- Vegetación	9
I.1.5.- Comunicaciones	9
I.1.6.- Abasto de agua	10
I.1.7.- Economía de la región	10
I.1.8.- Relieve	10
I.2- Características geológicas de la región	11
I.2.1.- Estratigrafía	11
I.2.2.- Tectónica	14
I.2.3.- Geomorfología	16
I.2.4.- Condiciones Hidrogeológicas	17
I.3.5- Sismicidad	17
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS	19
II.1-Introducción	19
II.2 Metodología de la investigación	20
II.2.1 - Trabajos precedentes	21
II.2.2.- Preparación del MDT	22
II.2.3- Interpretación del MDT	23
II.2.4.- Detección de las estructuras disyuntivas	25
II.2.5- Métodos morfométricos	26
II.2.6 Análisis de la disección vertical	27
II.2.7 Análisis de la disección horizontal	28
II.2.8 Análisis de las isobasitas	30
II.2.9 Análisis de las Polibasitas	31
CAPITULO III.- PRONOSTICO DE PROCESOS Y FENOMENOS FISICO GEOLÓGICOS EN LA ZONA DE CONSTRUCCIÓN DEL TRASVASE YATERAS – GUASO.	33
III.1.- Pronóstico para la ocurrencia de deslizamientos	33
III.2.- Pronóstico para la ocurrencia de empantanamientos	35
III.3.- Pronóstico para la ocurrencia de manifestaciones cársicas	40
III.4.- Pronóstico de las zonas de máxima densidad del agrietamiento	43
III.5.- Breve caracterización de los procesos erosivos	44
CONCLUSIONES	47
RECOMENDACIONES	47
RELACION DE ANEXOS	49
BIBLIOGRAFIA	50

RESUMEN

El trabajo titulado "Pronóstico de procesos y fenómenos físico – geológicos en el área para la construcción del trasvase Yateras – Guaso" se ejecutó en su totalidad a escala 1:10 000 sobre un área de alrededor de 800 Km² con el objetivo de establecer los criterios principales que permitan de forma rápida y eficiente dirigir las investigaciones futuras a los sectores de probable manifestación de distintos tipos de procesos que de una u otra forma pueden incidir en la planeación regional e incluso para objetos de obras puntuales. Se establecieron los principales sistemas de morfoalineamientos que afectan al territorio y el papel que los mismos juegan en la tectónica moderna, sobre la base de un conjunto de métodos, partiendo de la creación del Modelo Digital del Relieve, de cuyo procesamiento se pudieron extraer importantes conclusiones y sobre todo las variables morfométricas que se tratan en el trabajo.

Fue de gran utilidad el procesamiento e interpretación de la foto cósmica Landsat, de la que se obtuvo un cuadro de alineaciones con direcciones no convencionales en la geología de Cuba y que necesitan ser precisadas en trabajos posteriores.

De acuerdo a las evidencias de la interpretación de todos los materiales y las observaciones realizadas de forma directa en el campo, es posible confirmar la consideración inicial de que el área estudiada se encuentra en un proceso continuo de levantamiento.

ABSTRACT

The titled work "Prognosis of processes and physical-geologic phenomena of the Sector Yateras-Guaso of the county Guantánamo" it was executed in their entirety to scale 1:25 000 on an area of around 1 500 Km² with the objective of the main approaches that allow in a quick and efficient way to direct the future investigations to the sectors of probable manifestation of different types of processes that can impact in the regional gliding in an or another way settling down and even for objects of punctual works.

The main morphological alignments systems that affect to the territory and the paper that the same ones play in the tectonic one settled down modern, on the base of a group of methods, leaving of the creation of the Digital Model of the Relief of whose prosecution could be extracted important summations and mainly the morphometrics variables that are in the work.

It was of great utility the prosecution and interpretation of the cosmic image Landsat, of which a square of alignments was obtained with non conventional directions in the geology

of eastern Cuba in its western part that could modify some of the geotectonics considerations in future works on this matter.

According to the evidences of the interpretation of all the materials and the realized observations in a direct way in the field, it is possible to confirm the initial consideration that the studied area is in a rising continuous process.

INTRODUCCIÓN

La zona que comprende los territorios donde se ubica el tramo Yateras-Guaso de la provincia de Guantánamo tiene un amplio significado desde el punto de vista económico y social por cuanto en ella se ubica un significativo porcentaje poblacional y aparece dentro de ella un circuito agropecuario de extraordinaria importancia y variedad por los tipos de cultivos que van desde la agroindustria azucarera hasta el cultivo de cítricos, la pequeña producción alimenticia y de materiales de construcción entre otras. El área de estudio se encuentra a 25 Km. de la ciudad de Guantánamo limitada al norte por los poblados de Las Delicias-San Rafael, al sur El Quemado y la loma El Infierno al este por el Arroyo Salado y al oeste por los pueblos El Maquey y San Rafael ubicada al sur y sureste.

Desde el punto de vista geológico la región de estudio queda ubicada dentro de los límites de la zona estructural Sierras Nipe-Cristal-Baracoa y exactamente en el borde sureste de la estructura superpuesta Cuenca Guantánamo descritas por la Brigada Cubano - Húngara en el año 1976. Según el sistema geotectónico natural esta zona está ubicada en el macrobloque Sierra Maestra.

La geomorfología que se presenta es sencilla. En el territorio abunda un relieve formado en su mayoría por llanuras, predominando los procesos de meteorización y erosión. Entre las elevaciones notables se destaca principalmente La Sierra del Maquey hacia la parte central. Teniendo en cuenta los aspectos anteriores que en buena medida condicionan el surgimiento de distintos fenómenos y procesos físico – geológicos que tienen incidencia en la vida socioeconómica del territorio, se establece la necesidad de establecer las zonas de riesgos.

El alcance regional del trabajo limita las especificidades locales que deberán ser tratadas en trabajos posteriores.

A partir de estos postulados consideramos definir para la investigación como **Problema:** la necesidad de establecer la potencialidad de manifestación de los procesos y fenómenos físico- geológicos en la región.

Objeto: los procesos y fenómenos físico – geológicos que se desarrollan en el sector Yateras-Guaso.

Objetivo general: establecer y caracterizar las áreas afectadas por los procesos y fenómenos físico –geológicos del área de estudio.

Objetivos específicos:

- Determinar las condiciones geológicas y geomorfológicas que determinan la ocurrencia de fenómenos y procesos físico-geológicos en el área.
- Delimitar las zonas de manifestación de los fenómenos y procesos físico-geológicos en el área de estudio.
- Realizar una división preliminar del área en bloques morfotectónicos.

Hipótesis: si se conocen las condiciones geológicas y geomorfológicas para el desarrollo de determinados procesos físico – geológicos y se caracterizan éstas para el área de estudio, entonces se pueden predecir los sectores con mayor probabilidad para la ocurrencia de los mismos.

Novedad: Por primera vez se estudia para el territorio escogido de manera general el conjunto de procesos y fenómenos físico – geológicos que tienen relevancia en la planeación regional

Viabilidad: Radica en la posibilidad real de sintetizar en un período de tiempo relativamente breve los resultados obtenidos a partir de diferentes mapas morfométricos, el MDT, fotos y materiales gráficos de la geología con un mínimo de costo y de comprobaciones de campo.

Resultados esperados:

- Mapas morfométricos digitales.
- Modelo Digital del Terreno a escala 1:10 000 de unos 800 Km² de superficie.
- Mapas de pronóstico y caracterización de los principales procesos y fenómenos físico geológicos.
- Mapa geológico del área en formato digital.
- Modelos digitales de los principales procesos físico – geológicos que se manifiestan en el área.

Para la aplicación de la metodología de trabajo escogida se partió del hecho de que existe una estrecha relación genético espacial entre el relieve y la tectónica los que a su vez juegan un importante papel en el desarrollo de diferentes procesos físico – geológicos conjuntamente con otros factores como los tipos litológicos, la posición hipsométrica del

manto freático, la yacencia de las rocas y otras variables que de conjunto juegan un rol principal en algunos casos

CAPÍTULO I.- LOCALIZACIÓN, RASGOS FISIAGRÁFICOS Y GEOLÓGICOS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.

Ubicación y características físico geográficas.

Trabajos precedentes.

Características geológicas regionales.

I.1-Ubicación y características físicos geográficas.

I.1.1.- Ubicación geográfica.

El área de estudio se encuentra a 25 Km. de la ciudad de Guantánamo limitada al norte por los poblados de Las Delicias-San Rafael, al sur El Quemado y la loma El Infierno al este por el Arroyo Salado y al oeste por los pueblos El Maquey y San Rafael ubicada al sur y sureste. En el extremo suroccidental se destaca un sector de la Bahía de Guantánamo. Está limitada por las coordenadas Lambert: $X_1= 678670$ $X_2= 691600$; $Y_1= 150820$ $Y_2= 178470$ en 14 hojas cartográficas 1:10 000.

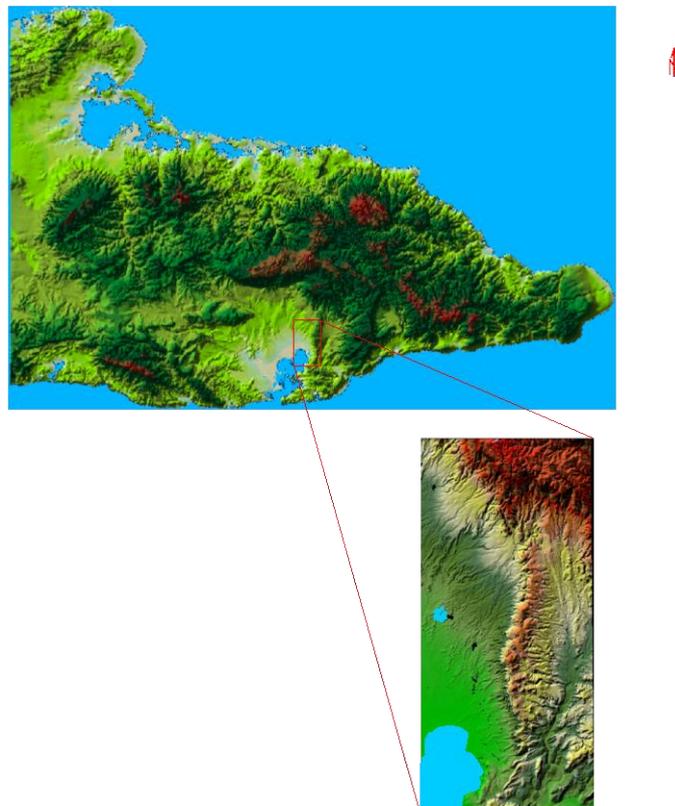


Fig. 1. 1- Mapa de ubicación geográfica.

I.1.2.- Clima: La región de estudio presenta un clima muy seco con temperaturas muy altas, con sectores de semidesiertos. Aparece un período de seca (noviembre-abril) y otro lluvioso (mayo-octubre). Las lluvias generalmente tienen carácter de aguaceros y excepcionalmente son prolongados. El régimen de temperaturas es característico, con promedio anual bastante bajos y pequeñas variaciones durante el año. La temperatura media anual el aire es $>26^{\circ}$ C, en tanto que las medias mensuales en Enero, Abril y Julio-Octubre son $> 24^{\circ}$ C, $> 25^{\circ}$ C y $> 27^{\circ}$ C. La precipitación media anual es > 800 mm en la zona costera y en una franja alrededor de la bahía y entre $900 - 1200$ mm en el resto del territorio. En el período lluvioso (Mayo – Octubre) las precipitaciones son de $400 - 600$ mm en la costa y hasta 800 mm en el resto, mientras que en el período seco (Noviembre – Abril) es inferior a los 400 mm en todo el territorio. La evaporación media anual es de $800 - 1200$ mm.

I.1.3.- Vegetación.

En esta región se observa una vegetación de pastos, cultivos de caña y cultivos temporales en las llanuras. Hacia las elevaciones se observan árboles poco frondosos que forman bosques secos y matorrales de variedades espinosas, se observa el micrófilo costero y subcostero. También está conformada por xenomorfo costero y subcostero con abundancias de suculentas (manigua costera).

I.1.4.- Comunicaciones.

Las vías de comunicación terrestres son bastante buenas, pudiendo utilizarse para llegar a la zona de los trabajos dos vías: la carretera Guantánamo-Tames y Guantánamo-San Antonio del Sur hasta el Acueducto y de este hasta el área de estudio enlazado con los caminos que llevan a la parte baja donde se encuentran pequeños asentamientos poblacionales. El transporte marítimo se explota a través del puerto de Boquerón en la Bahía de Guantánamo donde se embarca azúcar y otros productos, a la vez que llegan a la región por esta vía recursos para las industrias existentes y para el abasto de la población. Existe comunicada por un ferrocarril enlazado a la red nacional. La región está conectada a la red eléctrica nacional y tiene comunicación telefónica con todo el país.

Las comunicaciones telefónicas, telegráficas y postales son buenas y accesibles en todos los lugares dentro de la región.

I.1.5.- Abasto de agua.

La zona de trabajo presenta serios problemas con el abastecimiento de agua, aunque este ha quedado parcialmente resuelto con la puesta en explotación de un acueducto aunque puede obtenerse agua así mismo de las corrientes superficiales permanentes. La zona costera es muy poco favorable para el abasto a partir de las aguas superficiales dadas sus características geológicas y climáticas por lo que en caso necesario es recomendable realizar un estudio de las fuentes subterráneas o buscar alternativas de transporte.

I.1.6.- Economía de la región.

La economía de la región depende básicamente de la agricultura cañera, teniendo a la provincia Guantánamo como el centro comercial y de transformación de la región agrícola circundante dedicada sobre todo a la caña de azúcar. Otras actividades que se realizan con fines económicos en esta zona es la cría de ganado aunque no muy desarrollada, además de la siembra de cítricos y hortalizas, además se encuentra en menor escala el cultivo de frutos menores, la ganadería y trabajos forestales. El rendimiento de los cultivos está muy limitado por manifestaciones extremas de factores limitantes como concrecionamiento, hidromorfía, acumulación de sales, rocosidad, pendiente y erosión que se presenta como una erosión fuerte proporcionando malas condiciones para el laboreo mecánica. El regadío no es posible, o sea las condiciones para la agricultura son desfavorables. La industria es poco importante. Se destaca la existencia del central azucarero Manuel Tames.

I.1.7.- Relieve

La Sierra de Maquey posee cotas absolutas entre 200-300 m y desniveles relativos de 50-100 m. Su mayor elevación es Loma del Infierno al suroeste con 325 m.

Las pendientes de la cuesta forman un escarpe abrupto por todo el borde oeste (hacia la Bahía de Guantánamo) bajando suavemente al este, llegando hasta las laderas del Arroyo Caña y sus afluentes así como una red de cañadas que solo corren en tiempo de lluvias.

El relieve de esta área estuvo sometido a un proceso de formación prolongado en el tiempo, debido a la acción de los procesos de meteorización, erosión y tectónicos. La intensidad de estos procesos están relacionados con las litologías presentes y sus estructuras, desarrollando un relieve característico para cada litología:

Calizas: Forman un casquete rocoso en la cima de las elevaciones desarrollando paredes abruptas, escalonadas y escarpadas. Desarrollan una serie de disecciones motivadas por la erosión y la tectónica

Alternancia de margas, aleurolitas y areniscas: se localizan en las laderas del escarpe, desarrollando sistemas de cañadas profundas, formando la base de las elevaciones.

I.2- Características geológicas de la región.

La región de estudio queda ubicada dentro de los límites de la zona estructural Sierras Nipe-Cristal-Baracoa y exactamente en el borde sureste de la estructura superpuesta Cuenca Guantánamo descritas por la Brigada Cubano - Húngara en el año 1976 (Cuencas superpuestas de 2ª generación según Quintas, F).

En el Anexo 1, "Mapa Geológico del Area" se muestran las unidades estratigráficas del área y las relaciones mutuas entre ellas, así como las características tectónicas generales de la misma.

I.2.1.- Estratigrafía.

Formación San Luis (sl). Está constituida por areniscas polimícticas, limolitas, margas, arcillas, calizas arcillosas, calizas biodetríticas, calizas arenosas y conglomerados polimícticos. Se encuentra bien estratificada. En dirección hacia la parte superior del corte se observa un aumento de la cantidad del material clástico. Se encuentra cortada por diques y cuerpos de basalto. Sus depósitos aparecen ligeramente plegados.

Su edad es Eoceno medio parte alta- Eoceno superior. El espesor es de unos 700 m.



Fig. 1.2-Calizas estratificadas intercaladas con arcillas, margas y bloques de calizas angulosos de la Formación San Luis.

Formación Maquey (mq).- Alternancia de areniscas, limolitas y arcillas calcáreas de color gris y margas de color blanco a crema que contienen intercalaciones de espesor variable de calizas biotriticas, calizas arenáceas y calizas gravelíticas de colores blanco amarillo y crema, ocasionalmente amarillo grisáceo. La estratificación es fina a media, menos frecuentemente gruesa o masiva.

La edad comprobada de la formación es Oligoceno Superior - Mioceno Inferior parte baja. Presenta una potencia de alrededor de 700 m regionalmente, en la zona este parámetro no se determinó con exactitud, pero es considerablemente menor.



Fig. 1.3- Margas de la Formación Maquey

Formación Yateras (yt).- Alternancia de calizas detríticas, biodetríticas y biógenas de grano fino a grueso, estratificación fina a gruesa o masivas, duras, de porosidad variable. La coloración por lo general es blanca, crema o rosácea, menos frecuentemente carmelitosa.

Su edad es Oligoceno inferior - Mioceno inferior (parte baja).

El espesor oscila entre 160 y 500 m.

Formación Jamaica (jmc).- Está constituida por conglomerados polimícticos de matriz margosa, con clastos más o menos redondeados y selección mediana, que corresponden a calizas, metavulcanitas, silicitas y ultramafitas. Pueden contener intercalaciones finas de arenas y limos. El componente arcilloso de la matriz es predominantemente es esmectita.

Sobre la base de criterios geomorfológicos, su edad se considera como Plioceno Superior- Pleistoceno Inferior. La potencia es de 1 – 5 m



Fig. 1.4- Conglomerados de la Formación Jamaica

Formación Río Maya (rm).- Calizas biohémicas algáceas, coralinas y micríticas muy duras, frecuentemente aporcelanadas conteniendo corales en posición de crecimiento y fragmentarios, así como subordinadamente moldes y valvas de moluscos, todos muy recristalizados. Las calizas se encuentran frecuentemente dolomitizadas. El contenido de arcilla es muy variable. Contiene intercalaciones de conglomerados polimícticos de fina granulometría y cemento calcáreo. El color es blanco, amarillento, rosado o grisáceo. La edad Plioceno Superior - Pleistoceno Inferior y su espesor oscila entre 30 y 80 m.

En los cursos fluviales aparecen aluviones del cauce muy mal seleccionados y material conlomerático y arenoso en las correspondientes llanuras de inundación.

1.2.2.- Tectónica.

Como se ha expresado la región de estudio queda ubicada dentro de los límites de la zona estructural Sierras Nipe-Cristal-Baracoa (Cuencas superpuestas de 2ª generación y del período de neoplataforma, según Quinats, F) exactamente en el borde

sureste de la estructura superpuesta Cuenca Guantánamo. No aparecen grandes fracturas de carácter regional.

La observación de la figura 1.5 que refleja el “Mapa de Densidad de la Fracturación” en el área permite establecer dos zonas bien diferenciadas:

a: la zona que va desde la base del escarpe que separa a la sierra de la llanura alrededor de la Bahía de Guantánamo, que se caracteriza por valores muy altos de la densidad de fracturación en un rango que va desde los 60 – 280 m/Km². Dentro de este sector se destacan algunas porciones con valores bajos.

B: la zona llana, con valores de la densidad de fracturas por debajo de los 20 m/Km². De la misma manera aparecen pequeños sectores con valores anómalos dentro del área.

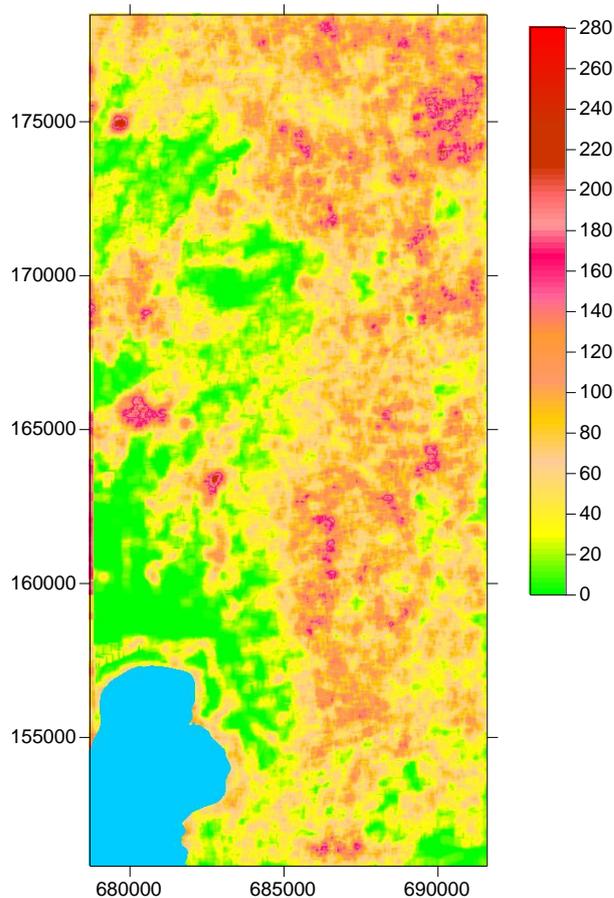


Fig.1.5.- Mapa de distribución de la densidad de fracturas en el área

En el mapa geológico (Anexo 2) se observa con claridad la enorme dispersión de los elementos de yacencia en las rocas de las formaciones San Luís y en mayor medida Maquey, lo cual más que a un factor tectónico de envergadura parece deberse al carácter deleznable de las litologías existentes (Carralero N, 1976; Ortiz M, 1976).

Se destacan un sistema de fallas principal al NE con un rumbo variable entre los 10 ° y 70 °, aunque subordinadamente se observa un segundo sistema al NW caracterizado por el pequeño número de estructuras que lo componen.

La zona en general tiene una marcada tendencia al ascenso según se muestra en los mapas de diferencias de isobasitas en los cuales ampliamente predominan los valores negativos.

I.2.3.- Geomorfología.

El área de los trabajos presenta valores contrastantes en los niveles hipsométricos entre 0 m al lado de la bahía y más de 700 m en la parte centro – septentrional, existiendo dos zonas bien diferenciadas, una al oeste en un rango de 50 – 100 m en la base del talud y una segunda zona hacia el oriente con valores por encima de los 100 m hasta más de 700 m. Por detrás del talud se destaca una segunda zona deprimida de menor importancia correspondiente a la cuenca del río Yateras.

Un elemento de importancia dentro del cuadro geomorfológico es la existencia de una gran divisoria en dirección Sur – Norte, la cual se bifurca en su extremo septentrional en forma de Y.

La zona costera es una región con muy bajos valores de cota, formándose alrededor de la bahía pantanos de cierta importancia por su superficie, sobre hacia el extremo norte del sector de la misma que aparece en la zona.

La red hidrográfica en la región está formada fundamentalmente por el río Yateras que corre en dirección NE-SO. Su red de drenaje está bien desarrollada presentando característica de río montañoso, tiene su nacimiento en las coordenadas X = 682 250; Y = 187 500 y a una altura de 860 m, terminando su recorrido en el Mar Caribe donde vierte sus aguas. Los ríos como el Jaibo y el Guaso poseen cuencas entre 50 y 600 Km². Todos estos ríos con sus afluentes conforman una red fluvial muy compleja sobre todo por las características geológico – tectónicas y geomorfológicas del lugar. Los ríos principales drenan en la Bahía de Guantánamo y corren con una dirección aproximada del NW al SE y del NNE al SSW.

Hacia el sur y por su margen izquierda recibe a sus afluentes: Arroyo Caña, Salado y numerosas cañadas. Estos arroyos tienen un cauce poco profundo con abundantes meandros. Presentan en su curso superior carácter montañoso con valles estrechos, con vertientes escarpadas y algunos saltos. Por las características del relieve, en esta parte de las cuencas existe una red hidrográfica consecuente por los afluentes Caña y Salado.

Existe una relación entre la red de drenaje y la tectónica. Según tres muestras tomadas de la literatura en los ríos Yateras y Caña y aguas debajo de la confluencia de ambos, podemos decir que las características hidroquímicas son semejantes. El PH las clasifica como poco alcalinas y por su grado de mineralización y contenido iónico corresponden a las ligeramente duras.

I.2.4.- Condiciones Hidrogeológicas

Según la composición química de las aguas subterráneas y su agresividad, se determinaron dos tipos de aguas de acuerdo a los horizontes litológicos:

- Aguas contenidas en las variedades rocosas: en su mayoría son aguas estratofisurales y de grietas, que se descubrieron formando un acuífero único. Su alimentación fundamental es en base a las precipitaciones atmosféricas. Son del tipo Clórica-sulfática-sódica o sulfática-clórica-sódica con mineralizaciones mayor 2g/l por lo que se clasifican en solubles a saladas, muy duras y algo ácidas según el PH determinado
- Aguas contenidas en los sedimentos aluviales que se acumulan preferiblemente en las terrazas del cauce, yaciendo muy cerca de la superficie, por lo que dependen del nivel del río. En épocas de lluvias su nivel es casi siempre igual al superficial y en el período seco, baja de 0.70 a 1 m. Según dos muestras tomadas en el río Yateras aguas abajo y arriba, estas se clasifican como bicarbonatadas-cálcicas-sódicas algo duras y con mineralizaciones menores de 0.5 g/l, siendo por tanto dulces.

Desde el punto de vista de la agresividad, todas las muestras fueron evaluadas y resultaron poca agresivas al hormigón las subterráneas, en cuanto al PH son medio agresivas y al contenido de sulfatos son medio y poco agresivos.

I.2.5- Sismicidad

La Isla de Cuba, así como todo el archipiélago antillano, pertenece a la faja sísmica que en América Central se une a la faja sísmica del Océano Pacífico. En Cuba los terremotos son de dos tipos diferentes: el primero llamado de entre placas, se presenta en los mares de la región suroriental y se caracteriza por una alta frecuencia de eventos, incluyendo los de mayores magnitudes, esto se explica por el hecho de que Cuba forma parte de la placa

norteamericana y su región suroriental se encuentra en la frontera con la placa del Caribe donde ocurren movimientos relativos con velocidades de hasta 2 cm/año.

El segundo tipo de terremoto llamado de interior de placa se presenta en el resto del territorio, se caracteriza por una baja frecuencia de ocurrencia de eventos, con desplazamientos en estructuras tectónicas de nuevo orden y generalmente ocurren en su intersección.

Según la escala MSK el grado de intensidad sísmica para nuestra zona es de 7.

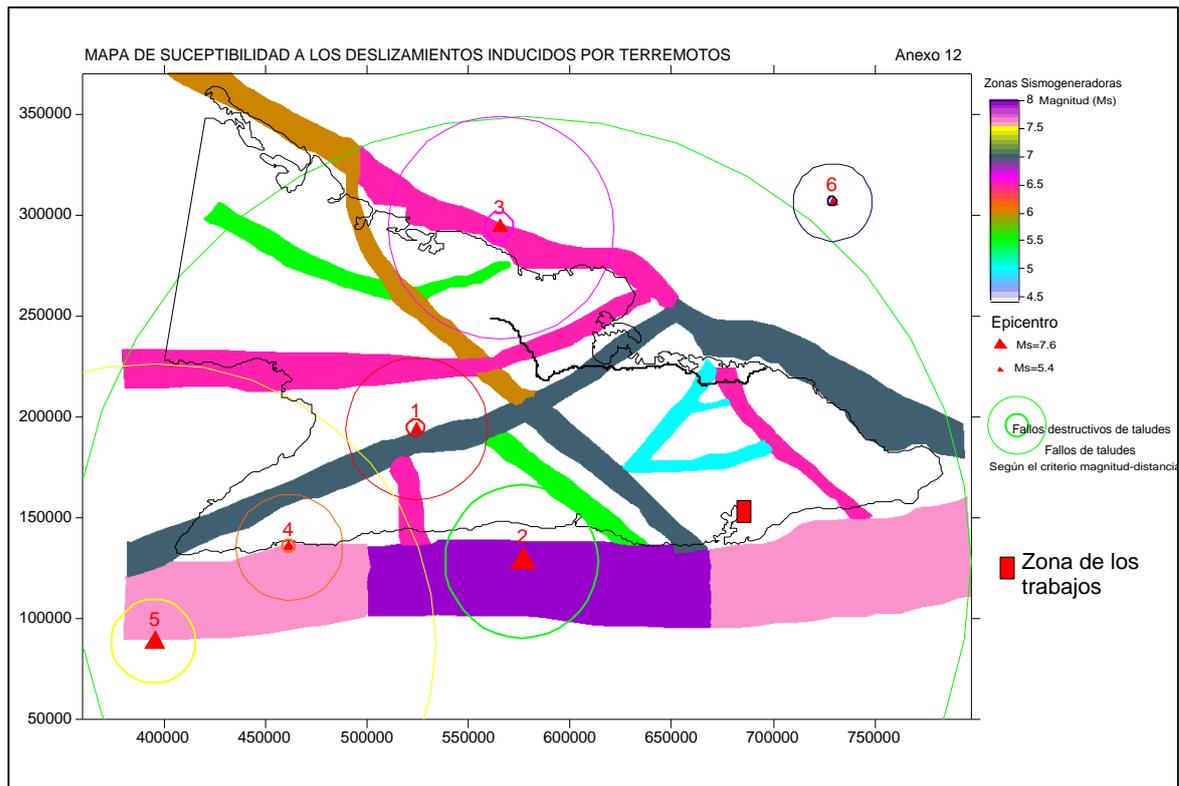


Fig.1.6.- Zonas sismogeneradoras de Cuba oriental

Como se puede observar en el esquema de zonas sismogeneradoras de Cuba oriental, el área de trabajo se encuentra muy cercana a la llamada zona Bartlett – Cayman que es la de mayor importancia para el territorio cubano, por lo cual es un elemento a tener muy en cuenta en la proyección de las obras del trasvase.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.

Introducción.

Metodología de la investigación.

Trabajos precedentes

Preparación del MDT.

Interpretación del MDT.

Métodos morfométricos.

Conclusiones.

II.1-Introducción.

En el presente capítulo se abordan los aspectos relativos a la preparación de la base cartográfica y gráfica necesaria para resolver la tarea propuesta a partir de un conjunto de materiales que en primera instancia se derivan del MDT y de la base geológica utilizada. Para esto se trazó una metodología de investigación que consta de cuatro etapas: Primera etapa: Preliminar. Donde se cumplió un voluminoso trabajo de preparación para enfrentar las tareas posteriores como fue la digitalización del Mapa Geológico a escala 1:50 000 del polígono CAME V, lo cual fue realizado por (Garcés 2005), para todo el territorio cartografiado por los geólogos del grupo cubano - húngaro, por lo que en la actualidad se cuenta con esta base en formato digital, lo que permite además la comparación de las características geólogo – tectónicas de este material con los resultados obtenidos en los procesamientos del relieve e imágenes a pesar de la diferencia de escalas (5:1).

Segunda etapa: Elaboración y procesamiento del Modelo digital del terreno y los materiales morfométricos principales; Disección vertical (Dv), Pendiente, Disección horizontal (Dh), Isobasitas, Diferencia de isobasitas.

Tercera etapa: Trabajos de campo.

Cuarta Etapa: Interpretación y elaboración de los resultados.

Luego se procedió a la preparación del MDT que constituye el material de partida más importante para el resto del trabajo, pues de él depende el procesamiento del relieve para la obtención de alineaciones y de las variables morfométricas principales.

Por último se realizó la interpretación del Modelo Digital del Terreno y de las variables morfométricas obtenidas del mismo.

II.2 Metodología de la investigación.

Se trabajó como es común en el campo de las ciencias de la tierra bajo el principio de la organización de la investigación por etapas:

Primera etapa: Preliminar.

En esta primera etapa se cumplió un voluminoso trabajo de preparación para enfrentar las tareas posteriores y que en esencia pueden resumirse en:

- Estudio de toda la información geólogo geomorfológico disponible.
- Preparación y procesamiento de las cartas topográficas
- Realización de algunos itinerarios fundamentales
- Digitalización del Mapa geológico.

Sobre la base de la información de partida disponible y el alcance de los trabajos a realizar se decidió elaborar los resultados a escala 1:10 000 considerando que los datos y procesamientos a realizar garantizan la precisión para la escala escogida.

Segunda etapa: Elaboración y procesamiento del Modelo digital del terreno y los materiales morfométricos principales.

En esta etapa se elaboró el MDT a partir de una metodología de trabajo elaborada y validada por los trabajos que durante más de 10 años ha realizado el Grupo de Estudios Regionales de la Unión de Construcciones Militares actualmente perteneciente al Grupo Empresarial GEOCUBA en la preparación del Teatro de Operaciones Militares o para diferentes empresas y ramas de la economía nacional, consistente en la utilización de un conjunto de softwares profesionales como el SURFE 8, AutoCAD 2000 y 2004, TeleMap y MapInfo conjuntamente con un sistema de procesamiento del relieve integrado por un paquete de programas elaborados por especialistas de los organismos mencionados y entre los que podemos destacar: SPR 21, Cot_ríos, bln_bln, Morfgrd, Análisis, lim_grd, Síntesis y otros que cumplen una o varias funciones dentro del procesamiento general del relieve para la elaboración del MDT o su procesamiento e interpretación.

A partir del modelo se realizó la preparación de los mapas morfométricos principales:

- Disección vertical (Dv).
- Disección horizontal (Dh).
- Pendientes.
- Isobasitas.
- Diferencia de isobasitas

- Polibasitas

La red de drenaje ordenada se obtuvo directamente de las cartas topográficas mencionadas.

En esta propia etapa quedó concluido el Mapa Geológico digital del polígono CAME – IV a escala 1:50 000, que es esencial para valorar a la litología como variable fundamental en algunos fenómenos y procesos físico – geológicos como el carso, el empantanamiento o las zonas de deslizamientos.

II.2.1 - Trabajos precedentes.

El área de los trabajos ha sido poco estudiada desde el punto de vista geológico y geomorfológico. Regionalmente se han realizado los trabajos de la Brigada Cubano - Húngara en el año 1976, consistentes en el levantamiento geológico a escala 1:250 000 y el mapa correspondiente para toda la antigua provincia de Oriente a esa escala. Se contó además con el Mapa Geológico a escala 1:50 000 del Polígono CAME V - Guantánamo que abarca todo el territorio objeto de estudio. Se trabajó con los mapas geológicos de Cuba a escala 1:500 000 y 250 000 y se hizo una extensa revisión del Léxico estratigráfico de Cuba para la descripción de las diferentes formaciones que se distribuyen en la zona.

Fueron consultados los trabajos que el GER-Oriente ha desarrollado en áreas cercanas al sector estudiado o muy próximo a éste y otros materiales sobre el tema obtenidos en otras instituciones afines. Toda la bibliografía consultada aparece al final del texto.

Se tuvo en cuenta así mismo el estudio de diferentes materiales existentes en el ISMM de estudiantes y profesores de este que realizaron estudios en la región o zonas cercanas. Tales como los de Carralero, N y Ortiz, M (1976) y Rodríguez, H (1977), en Palenque y Arenal de Yateras respectivamente.

Con el estudio y procesamiento de toda esta información se elaboró la hipótesis de trabajo, la cual se validó con los trabajos de campo y los procesamientos posteriores.

Confección de los mapas analíticos para los diferentes tipos de procesos y fenómenos físico geológicos.

Se prepararon los mapas de pronóstico de:

- Carso
- Empantanamiento
- Deslizamientos

- Acumulación

Para la obtención de estos mapas se utiliza un paquete de Softwares entre los que se destacan:

SURFER: para establecer los modelos correspondientes a cada variable.

Análisis: para obtener el mapa correspondiente para cada una.

Síntesis: para discriminar la incidencia de diferentes parámetros cuando más de uno influye sobre una variable.

Lim_Grd: Para establecer los rangos de análisis de las diferentes variables de forma homogénea.

Con la integración de todos estos materiales y la ayuda de los programas “Análisis” y “Síntesis” que permiten apreciar el comportamiento de una o más variables se procedió a la preparación de los mapas de cada uno de los procesos que se señalan. Estos materiales gráficos permiten establecer las zonas favorables para la ocurrencia de uno u otro fenómeno hasta el nivel de pronóstico.

Tercera etapa: Trabajos de campo.

Para la realización de las comprobaciones de campo se escogieron algunos sectores fundamentales, debido a los elementos que se deseaba comprobar haciendo énfasis en las zonas de desarrollo pronosticado de los procesos. En la ejecución de estas tareas se pudo validar una parte importante de los aspectos supuestos en las etapas precedentes y sobre todo establecer regularidades para la interpretación final de los materiales obtenidos.

Cuarta Etapa: Interpretación y elaboración de los resultados.

Con todo el material obtenido se procedió a la interpretación y ajuste de los resultados finales preparando cada uno de los mapas temáticos definitivos y realizando la generalización de los procesos principales que afectan a la región.

II.2.2.- Preparación del MDT.

Como material de partida para el resto del trabajo, el MDT constituye sin dudas el más importante, pues de él depende el procesamiento del relieve para la obtención de morfoalineaciones y de las variables morfométricas principales.

Para la creación del modelo se parte de la vectorización de las imágenes escaneadas en de las capas originales del relieve e hidrografía correspondientes a cada una de las cartas topográficas del área, ello garantiza que no exista distorsión en el material primario. La georeferenciación de estas capas se realiza con el AutoCad Map 2000 utilizando los

módulos Cad Overlay y Cd 25000. Este último, elaborado por Geocuba, contiene el marco geográfico de todas las cartas topográficas del territorio nacional. Ambos módulos en su conjunto permiten visualizar y cuantificar los errores del proceso por lo que se pueden rectificar los mismos hasta niveles permisibles. Sin dudas este proceso de georeferenciación ofrece los mejores resultados.

La asignación de las cotas a las curvas de nivel es un proceso tedioso, pero que necesita de una comprobación continua hasta la completa seguridad de que no existen errores, lo cual se logra a través de la generación y comprobación del fichero *.grd obtenido, con las curvas digitalizadas y con el programa "revisa" que indica las series (curvas) que es necesario rectificar.

La precisión del trazado de la red de drenaje y su ordenamiento, cuando se trata de investigaciones con fines geológicos, es fundamental pues cuando se asigne cota a los ríos a través del software Cot_ríos, sus resultados dependerán de la calidad en el trazado con respecto a las curvas de nivel y en las intersecciones con otros elementos de la red. El programa revisa permite la rectificación de estos problemas. Mientras exista algún error en la cota asignada a los ríos o en las curvas el modelo no será confiable y por ello no podrá ser generado.

La suma de los ficheros de ríos y curvas con extensión *.bln permite generar en el Surfer el MDT con el paso escogido, en nuestro caso 25 m y con el sistema de interpolación Krigging, que ofrece los mejores resultados y con un radio de búsqueda adecuado en dependencia de las características del relieve. Como regla un radio de 500 m ofrece buenos resultados.

La descripción anterior abarca los aspectos más generales de la creación de los MDT, pues a lo largo del proceso aparecen dificultades que sólo son solubles sobre la base de la experiencia del personal y para las cuales se cuenta con las herramientas automatizadas necesarias, así como otros procesos indispensables como el blanqueo de determinados elementos.

El modelo generado debe coincidir en su totalidad con el relieve vectorizado para asegurar la excelencia en el trabajo realizado.

II.2.3- Interpretación del MDT.

El Modelo Digital del Terreno de manera directa fue utilizado en tres direcciones principales:

- a.- Determinación de las morfoalineaciones principales a partir del relieve a escala regional.
- b.- Determinación del flujo de las aguas superficiales.
- c.- Determinación de las variables morfométricas.

Entre otras posibilidades el MDT permite la observación tridimensional del terreno a través del SURFER, con puntos de observación e iluminación desde diferentes ángulos y direcciones, modificando a voluntad las escalas bi y tridimensionalmente, para resaltar los elementos geomorfológicos de interés para el observador.

En el modelo 3D se pueden apreciar así mismo las zonas de ruptura del relieve, lo cual es un indicador importante sobre las disyunciones principales. En el caso que nos ocupa en particular se puede apreciar con toda claridad la ruptura provocada en el relieve por un gran escarpe que corre en dirección N-S, aunque en este caso no se descarta la existencia de un proceso erosivo diferencial.

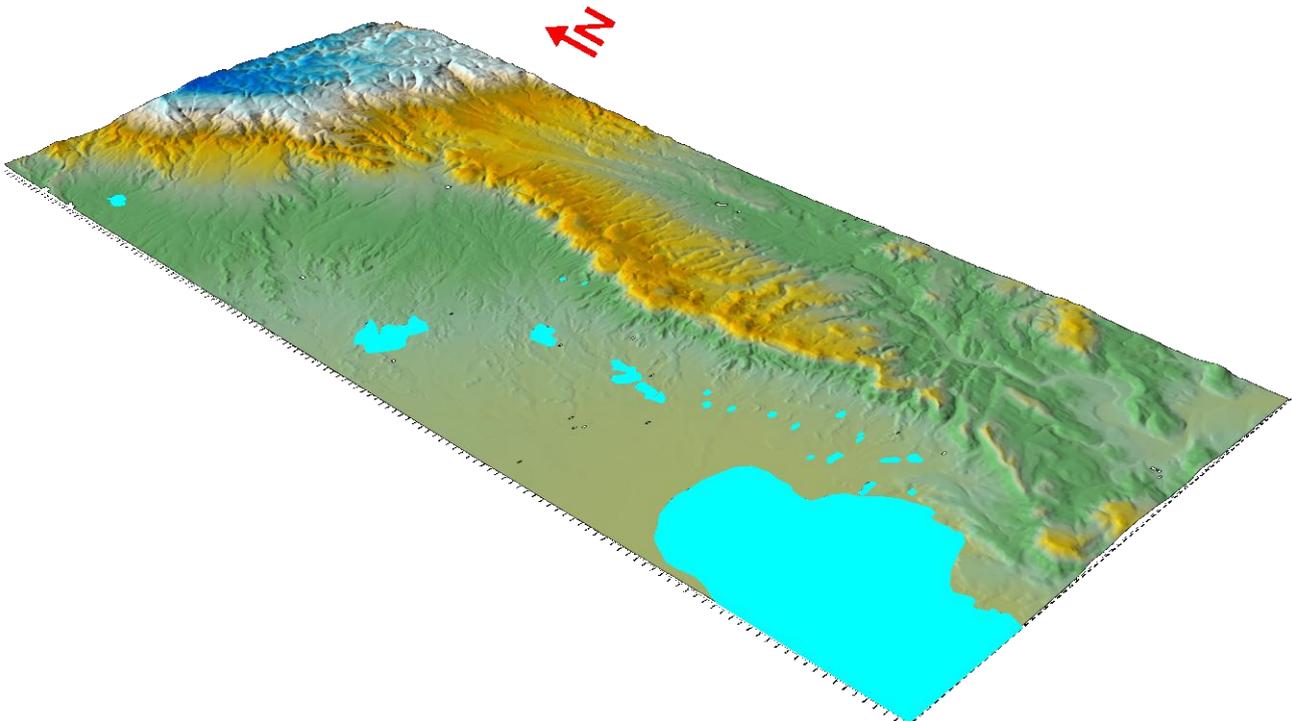


Fig. 2.1.- Mapa en 3D.

Se preparó una imagen con la red de drenaje y un filtrado direccional, debido a la correlación que existe entre la alineación de la red de drenaje y el agrietamiento, obteniendo la tectónica por la red de drenaje.

Con ambos resultados se establecieron las direcciones predominantes de las alineaciones detectadas.

II.2.4.- Detección de las estructuras disyuntivas.

Este procedimiento se desarrolló empleando una metodología creada en los Grupos de Estudios Regionales y que permite la detección de evidencias sobre la cartografía de lineamientos en función de como estas son visibles en las imágenes aerocósmicas y en distintos procesamientos realizados al MDT. Del análisis de los mapas morfométricos: disección vertical, pendiente de disección, coeficiente de variación, se obtuvieron indicios sobre posibles eventos tectónicos. El empleo de filtros direccionales permite obtener zonas de máximos alineados de estos parámetros.

Por otro lado se realizó la detección de grietas a partir del mapa de pendientes real y de filtros obtenidos al MDT.

- Obtención del relieve residual: Diferencia entre modelo promediado y el MDT, el tamaño del filtro promediador define la magnitud de la anomalía posible a detectar.
- A partir del residuo así obtenido se determinó los puntos de inflexión, donde cambia la curvatura, estos puntos son los de mayor probabilidad de coincidir con morfoalineamientos. En la imagen así obtenida estos quedan con valor máximo y los restantes con mínimo.
- Obtención de los valores de la dimensión fractal, permite diferenciar zonas donde esta es máxima, si tenemos en cuenta que las estructuras presentan esta propiedad de replicación con la variación de la escala, entonces la ocurrencia de máximos de esta en la imagen obtenida es un indicador eficiente de la existencia de estos.
- Multiplicación de la imagen fractal y la de puntos de cambio de curvatura.
- Las morfoalinaciones son tratadas con un filtro direccional en 12 direcciones cada 15°. Se obtuvo una imagen para cada dirección.

Con un procedimiento establecido estas fueron: 1) pre-esqueletizadas, esqueletizadas y vectorizadas obteniendo el cuadro de agrietamiento total y un conjunto de coberturas con paso 10 x 10 m y radio de premediación de 100 x 100 m entre ellas están:

- Densidad de fracturas.
- Densidad de fracturas modificada.
- Cantidad de familias Jn.

A partir del mapa de densidad de fracturas, la interpretación experta de las imágenes de MDT sombreado, el análisis de la red de drenaje y el procesamiento de la imagen cósmica se obtuvo el cuadro de agrietamiento presentado en los anexos.

Para confirmar el cuadro tectónico regional se procedió a la interpretación de la imagen aerocósmica Lansat con un procedimiento similar utilizando filtros direccionales.

Del MDT se pueden obtener de manera directa otras variables o resultados que se tratan en el epígrafe correspondiente a su interpretación.

II.2.5- Métodos morfométricos.

Durante la realización de la etapa preliminar de los trabajos se desarrolló un conjunto de métodos morfométricos encaminados al establecimiento de los sectores donde determinadas variables morfológicas presentaban una mayor o menor expresión en el relieve; en particular se examinaron las siguientes:

- Pendiente
- Disección vertical
- Disección horizontal
- Isobasitas de diferentes órdenes
- Diferencias de isobasitas
- Polibasitas (3º y 4º órdenes)

Análisis de las pendientes.- Los rangos de pendientes en la zona de trabajo se pueden separar por su grado de manifestación en:

Pendientes entre 0º – 30º, alcanzando un alto predominio los valores por debajo de los 10º en toda la zona occidental y centro-sur oriental.

Los valores entre 10º y 20º y 20º y 30º aparecen fundamentalmente a lo largo de las divisorias principales.

Pendientes $\geq 30^\circ$, sólo aparecen en los taludes de las partes más elevadas o en los hombros y cierres de los embalses existentes.

De lo anterior se desprende que esta variable presenta un comportamiento, al margen de otras consideraciones de poca influencia en la región.

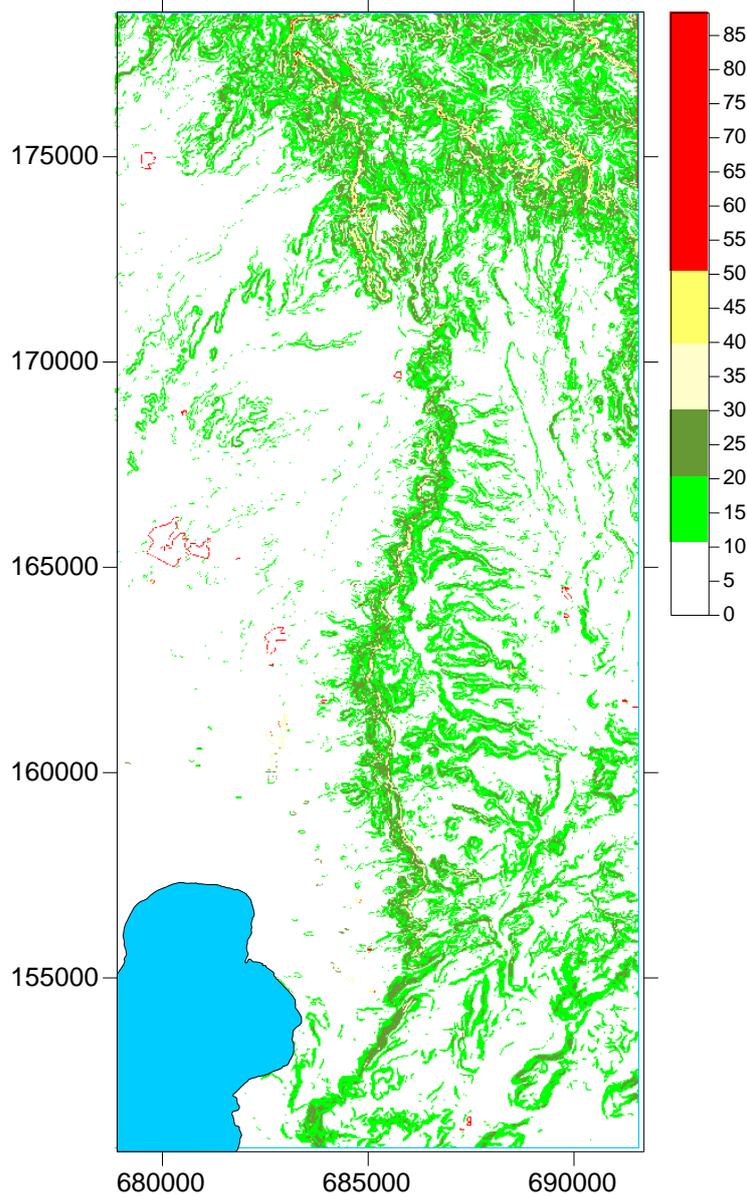


Fig.2.2.- Mapa de pendientes

II.2.6.- Análisis de la disección vertical.- Como se ha expresado en epígrafes precedentes la zona de trabajo presenta valores contrastantes en lo referido a las cotas con una diferencia > 700 m para el área en su conjunto. Las zonas elevadas aparecen surcadas por potentes cursos fluviales como el río Yateras y sus afluentes, evidenciándose así que el proceso de disección en el sentido vertical es importante.

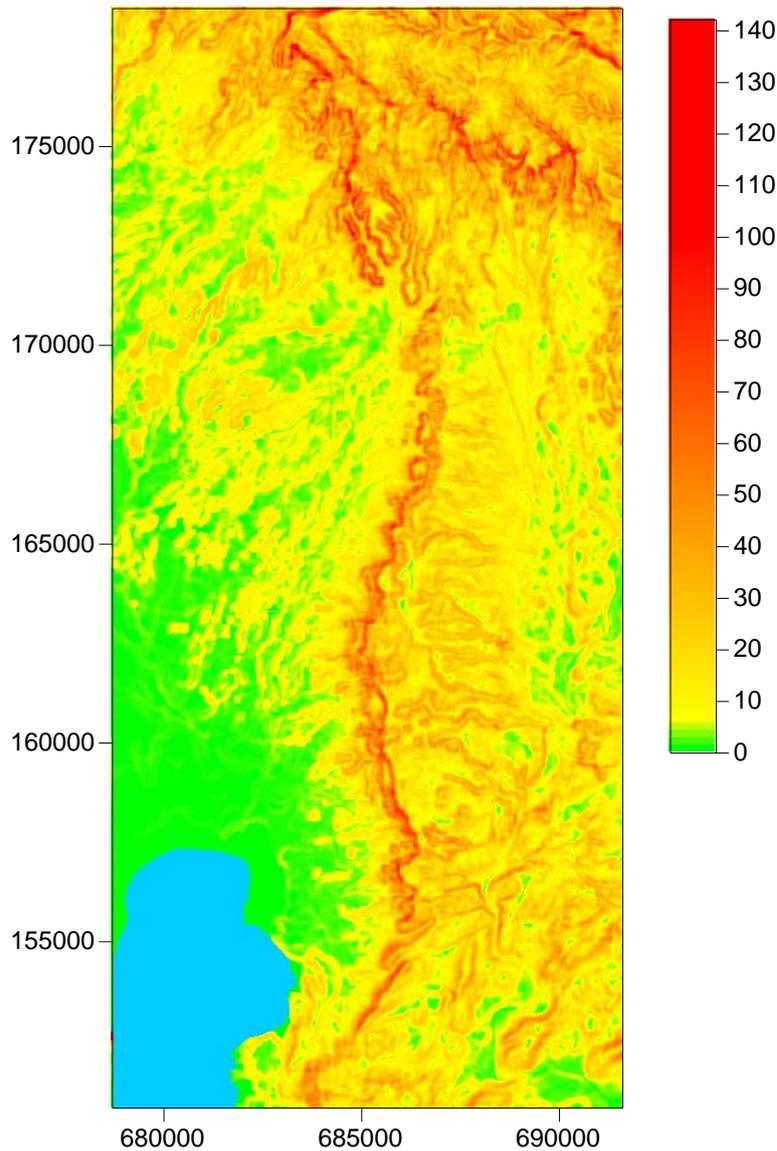


Fig.2.3.- Mapa de disección vertical

Valores muy bajos (0 – 5 m) de disección vertical se presentan en la zona por delante del talud mencionado y algunos sectores interiores de las porciones elevadas en forma de pequeños valles intramontanos o de las llanuras aluviales de los ríos.

Los mayores valores de disección vertical por encima de los 60 m y hasta los 140 m se expresan en las zonas de divisorias y de los cauces fluviales.

La disección vertical es una variable relevante en el área de los trabajos.

II.2.7.- Análisis de la disección horizontal.- Como se conoce la red de drenaje se encuentra condicionada por una serie de elementos geológico – tectónicos que determinan su densidad y configuración. En la figura 2.4 se muestra la red de drenaje permanente y no permanente de la zona de trabajo, de cuyo procesamiento se obtuvo la disección horizontal por vía automatizada.

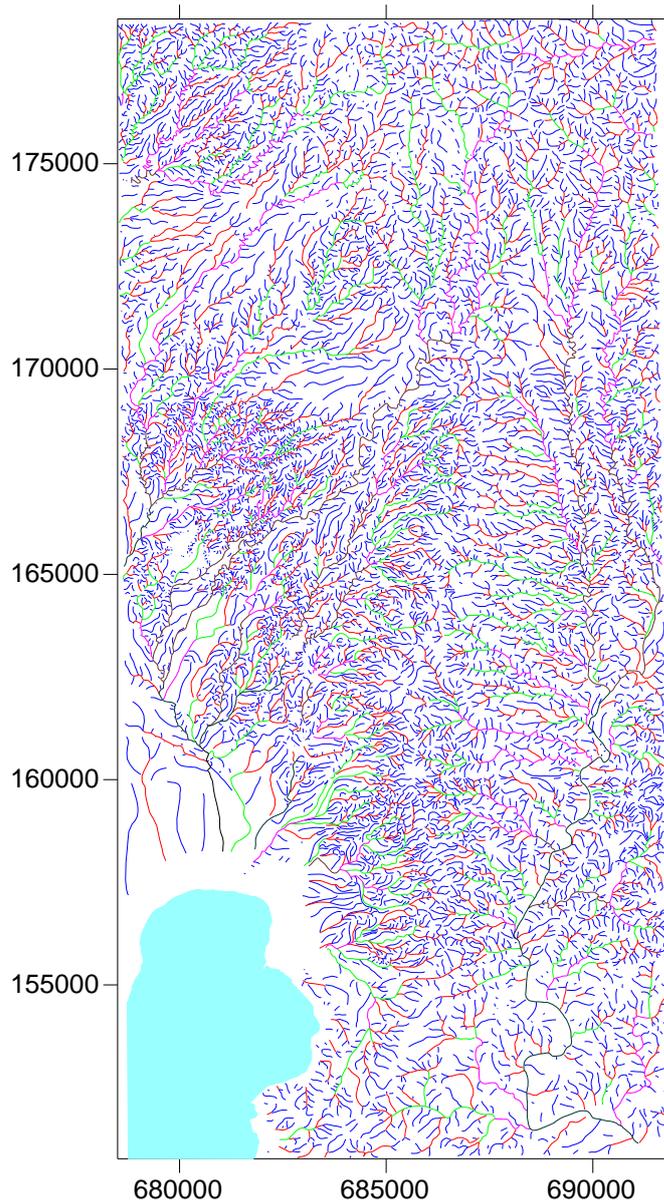


Fig.2.4.- Desarrollo de la red de drenaje en el área de trabajo

Como se puede observar en la zona la red posee una densidad muy alta lo cual determina también valores muy elevados para la disección horizontal.

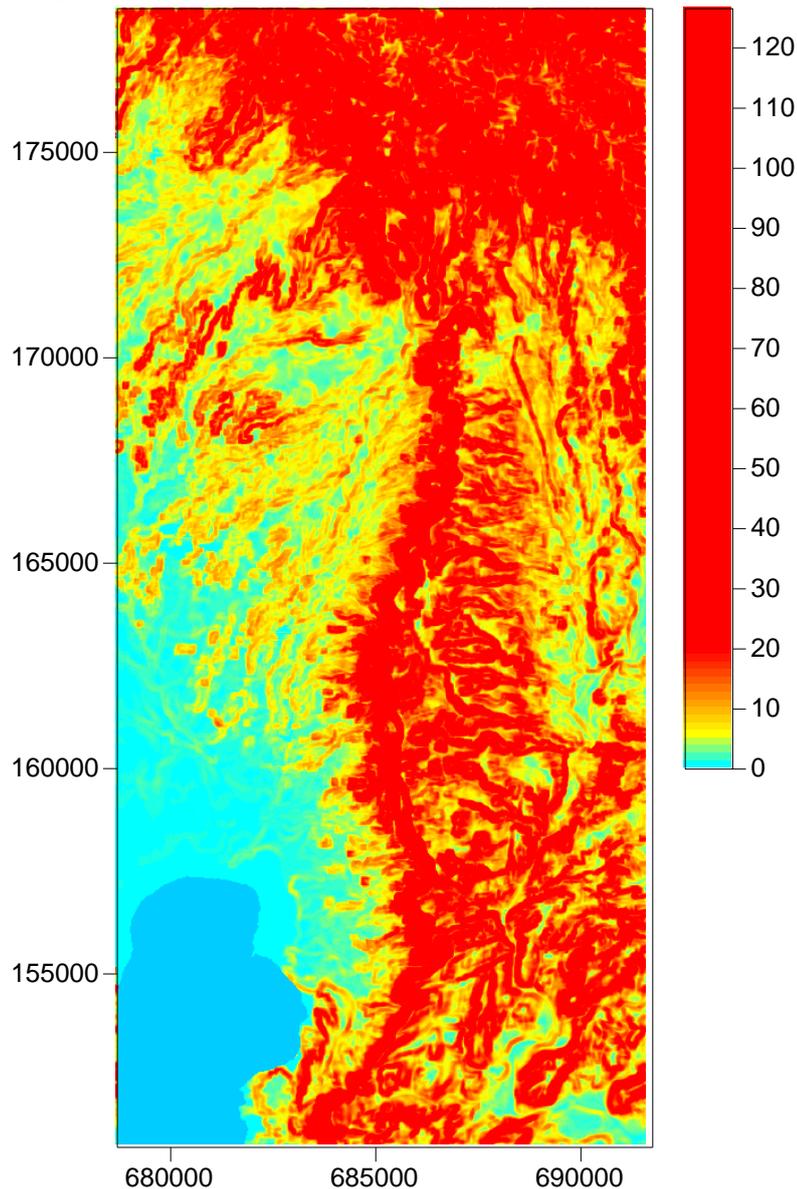


Fig.2.5- Mapa de disección horizontal

En el mapa de disección vertical se observa que los aspectos tratados en el epígrafe anterior se corresponden con los resultados obtenidos pues la disección horizontal alcanza valores de hasta 120 m/Ha (12 km/Km^2). Se pueden observar bajos valores de disección horizontal en toda la zona alrededor de la Bahía de Guantánamo y en algunos sectores relacionados con las zonas bajas de las llanuras de inundación de los cursos fluviales.

II.2.8.- Análisis de las isobasitas.- Existe una pobre manifestación de los cierres de isobasitas de 2^o y 3^{er} órdenes debido a la pequeña superficie que ocupa el área de los trabajos. Si se observa que en la parte suroriental aparece un cierre de isobasitas con carácter casi excepcional y que el mismo se encuentra desplazado en ambos órdenes

respecto al otro, se puede inferir la existencia de una zona de falla. La simple observación en el Mapa Geológico evidencia la existencia de la misma, de forma comprobada en el campo.

II.2.9 Análisis de las Polibasitas.- En general para cumplir el objetivo de nuestro trabajo se realizó la interpretación de los mapas de Polibasitas de 1º a 4º órdenes, debido a que los mismos tienen una importancia como variables para pronosticar los procesos de carsificación y el de 3º orden en particular pues es un buen indicador al nivel de pronóstico para determinar la profundidad del nivel freático.

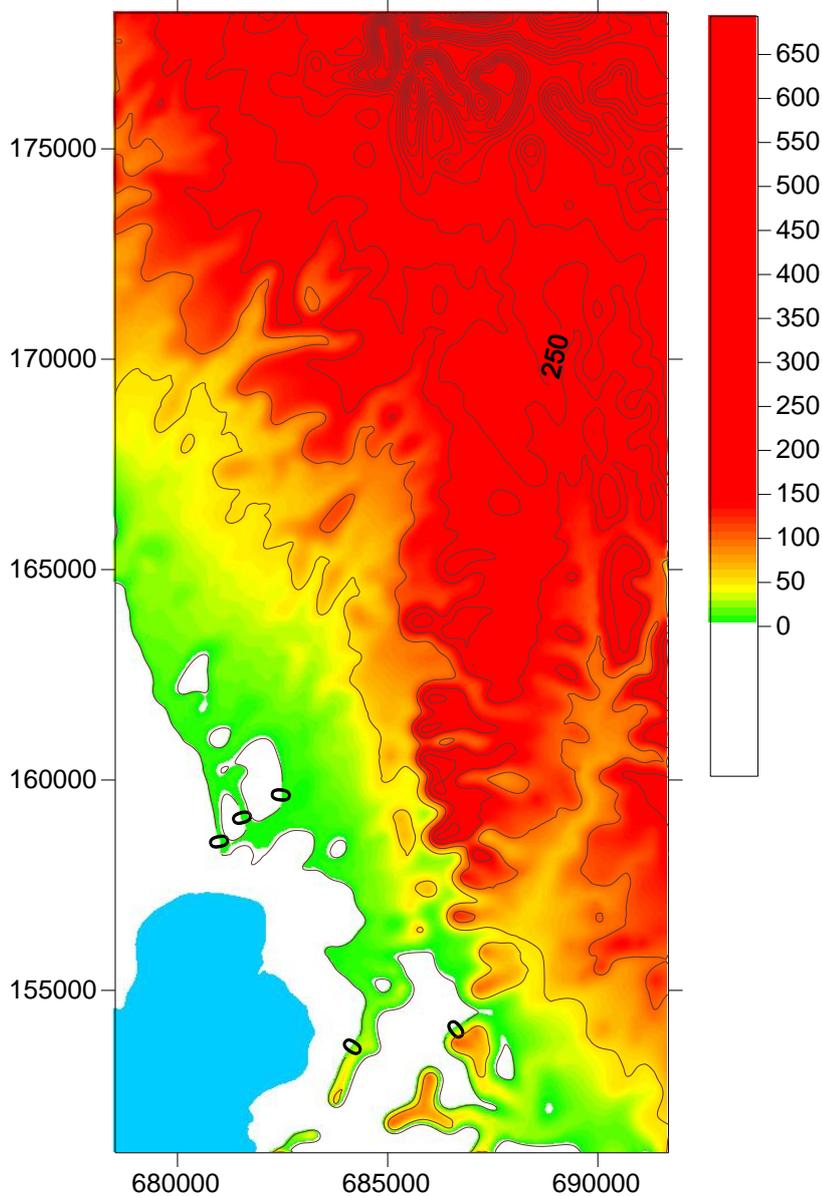


Fig.2.6- Mapa de Polibasitas de 3º orden al nivel de pronóstico refleja el mapa de hidroisohipsas

En la figura anterior se observa la distribución de los hidroisohipsas con valores bajos hacia la costa y más altos hacia las partes montañosas, incluso puede observarse en color blanco aquellos sectores en que el agua se encuentra en la superficie o muy cercana a ella.

El análisis morfométrico realizado constituye en lo esencial la base de partida para el pronóstico de los procesos y fenómenos físico – geológicos, toda vez que permiten determinar toda una serie de variables fundamentales para establecer las características del relieve y su interacción con los procesos que dan origen a los mismos.

En particular las variables que son introducidas en el pronóstico de uno u otro proceso son:

- Disección horizontal
- Disección vertical
- Pendiente

Todas ellas analizadas junto a las variables geológicas o geomecánicas como la litología, el nivel freático, la tectónica general y la calidad del macizo rocoso entre otras permiten llegar a conclusiones sobre la manifestación de los procesos y fenómenos físico geológicos que se exponen en los resultados de este trabajo.

CAPITULO III.- PRONOSTICO DE PROCESOS Y FENOMENOS FISICO GEOLÓGICOS EN LA ZONA DE CONSTRUCCIÓN DEL TRASVASE YATERAS – GUASO.

Pronóstico de procesos y fenómenos físico - geológicos

Pronóstico para la ocurrencia de deslizamientos

Pronóstico para la ocurrencia de empantanamientos

Pronóstico para la ocurrencia de manifestaciones cársicas

Pronóstico de las zonas de máxima densidad del agrietamiento

III.1.- Pronóstico para la ocurrencia de deslizamientos (Anexo 7).

Este peligro se evalúa atendiendo a dos parámetros fundamentales que condicionan su ocurrencia: pendiente del terreno y calidad del macizo rocoso. Elementos disparadores, intensas lluvias y sismos se analizan en interrelación entre estos eventos y su influencia para el desencadenamiento de deslizamientos de rocas y/o suelos.

La inestabilidad de los taludes es uno de los peligros fundamentales existentes. Es importante determinar las zonas potencialmente más peligrosas y realizar acciones encaminadas a disminuir la vulnerabilidad de la infraestructura.

A partir de MDT se obtuvo el modelo de pendiente clasificándolo en tres niveles principales, atendiendo a la estabilidad de los taludes:

1. Pendientes menores de 20 grados: Zonas de menos probabilidad de ocurrencia, no obstante pueden existir deslizamientos de suelos no cohesivos.
2. Pendientes entre 20-30 grados: Condiciones medias de peligro.
3. Pendientes mayores de 30 grados: Por lo general son proclives a los deslizamientos.

El análisis de la estabilidad del macizo, a nivel de pronóstico, se realizó utilizando la clasificación de Barton ajustando algunos elementos obtenidos con el empleo de técnicas de procesamiento digital del relieve y la Teledetección.

La expresión para la susceptibilidad al deslizamiento viene dada por la expresión 3.1

$$S_{desliz} = Lito \left[\frac{(1.534 pd - 0.085 dv)}{Q} \right] \quad (3.1)$$

donde: $Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$ La calidad del macizo (González Vallejo 2002)

RQD calidad de la roca.

J_n índice de diaclasado.

J_r índice de rugosidad de las discontinuidades.

J_a índice de alteración de las discontinuidades.

J_w factor de reducción por la presencia de agua.

SRF condiciones tensionales del macizo rocoso, normalizado según los criterios de Barton.

Pd pendiente en grados

Dv disección vertical (m)

Con el modelo descrito se determinaron las zonas de mayor peligro de deslizamiento, utilizando como criterio de clasificación las zonas donde potencialmente es más probable la ocurrencia del proceso.

En la zona de los trabajos el fenómeno de deslizamiento tiene la mayor probabilidad de manifestación hacia la parte noroccidental, por encima del 75 % de forma muy puntual, debido a las altas pendientes existentes y a la calidad del macizo rocoso, determinada por un alto grado de agrietamiento.

La parte ubicada por delante del escarpe principal que divide a la Sierra de Maquey del Valle de Guantánamo y la zona del río Yateras poseen una probabilidad de deslizamientos muy baja, con valores ≤ 5 %; en tanto que el resto de la zona de trabajo 5 % y 33 % con escasos valores entre 33 % y 50 %.

Algunos puntos de alta probabilidad en los taludes y cierres de presas están determinados por las altas pendientes de los mismos y no deben ser considerados en trabajos futuros.

En sentido general el proceso de deslizamiento en la zona no tiene una baja manifestación y no constituye un peligro de envergadura para la planificación de los trabajos en el área.

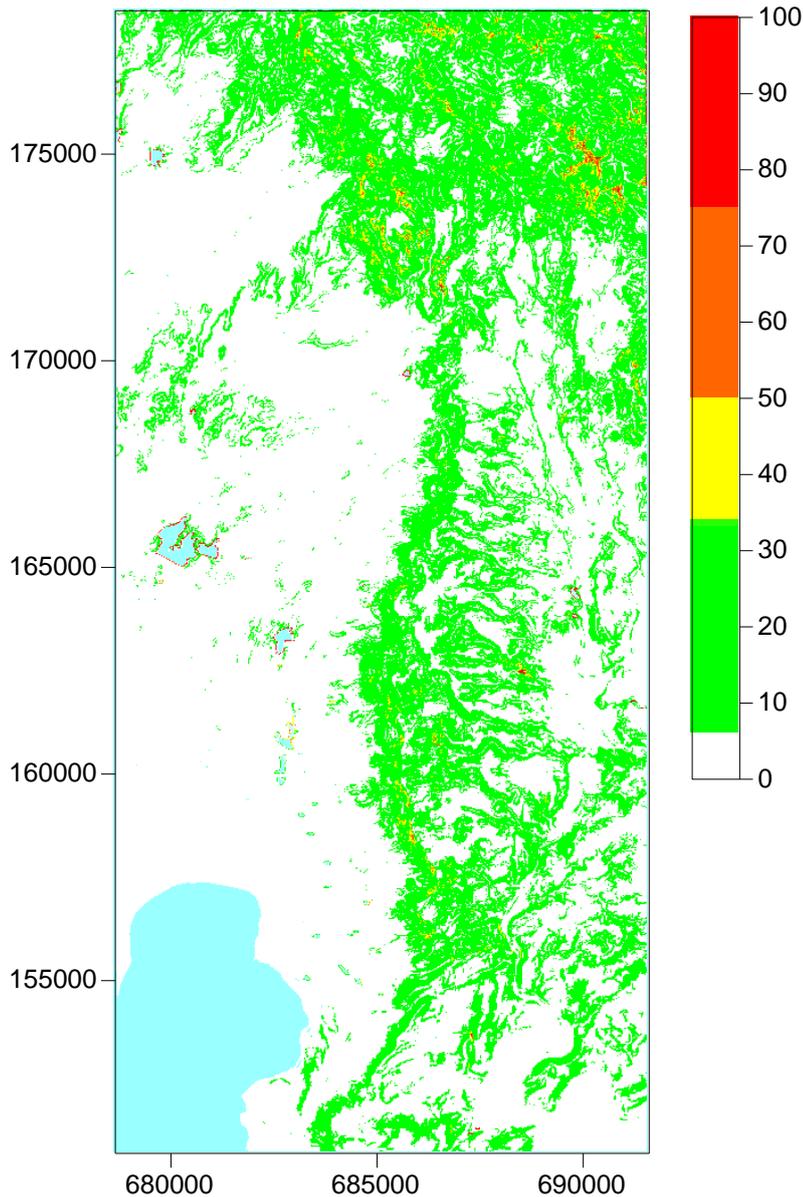


Fig.- 3.1.- Mapa de susceptibilidad a los deslizamientos.

III.2.- Pronóstico para la ocurrencia de empantanamientos (Anexo 8).

Para un estudio preciso de suelos es necesario identificar los tipos de estos y rocas y sus rasgos estructurales y determinar sus propiedades relevantes mediante ensayos de campo y por ensayos de laboratorio sobre muestras “alteradas”, “semi-alteradas” e “inalteradas”. Estas muestras se utilizan para establecer la estabilidad de las estructuras y predecir los asentamientos que inevitablemente se producirán al ser cargado el suelo.

Toda estructura geotécnica requiere cierto nivel de estudio. La extensión del alcance de estos depende de la complejidad de la estructura, el alcance del presupuesto, las consecuencias e importancia del fallo de la estructura y la situación geotécnica propiamente dicha. El programa de estudios en el terreno, pruebas de campo, y los

ensayos de laboratorio se planifican teniendo en cuenta todos estos factores. Para estructuras muy complejas se necesitan no sólo especialistas de mecánica de suelos, sino además ingenieros geólogos y geofísicos. No obstante en este estudio sólo brindamos, utilizando los mapas existentes y su perfeccionamiento con el empleo de los procedimientos descritos, un pronóstico de las zonas más susceptibles al empantanamiento.

Este peligro se evaluó atendiendo a dos parámetros fundamentales que condicionan su ocurrencia: geología, pendiente, coeficiente de meteorización, disección horizontal, acumulación, profundidad del manto freático y suelo. El elemento disparador evaluado fue el de intensidad de las lluvias para 1% de probabilidad y 100 años como período de retorno.

Tabla 3.1.- Susceptibilidad de los suelos al empantanamiento

No	Tipo	Composición y ubicación	Susceptibilidad
1	Pedregosos	Mezcla de perdigones, cascajos, guijarros, con grava, arena y arcilla. Zonas montañosas, con rocosos. Cimas, pendientes, taludes, bases, placeres y conos de deyección.	Estables baja susceptibilidad al empantanamiento.
2	Arenosos	Gravas, guijarros y arenas con hasta el 3% de arcillas. Secos, áridos. Húmedos adquieren cierta cohesión. Mojados se tornan fluidos. Muy diseminados en valles anegadizos y zonas desérticas.	Secos, y sin césped, difícil acceso para vehículos de rueda. Húmedos hasta el 5 – 7% permiten un tránsito intenso.

3	Sub - arenosos	Mezcla de partículas arenosas y arcillosas (del 3 al 10%). Mayor densidad y cohesión que los arenosos. Distribución similar a los arenosos.	Buena prácticamente todo el año. No se mojan ni son muy polvorientos.
4	Gredosos	Mezcla de partículas arenosas y arcillosas (del 10 al 30%). Mayor cohesión y plasticidad que los subarenosos. Distribución similar a los arenosos.	Transitables en estado seco, se forma polvo. Mojados se dificulta el transito principalmente de ruedas.
5	Areno arcillosos y limosos	Mezcla de partículas arenosas finas y arcillosas. Mayor plasticidad que los gredosos. Distribución en casi todas las llanuras. Son muy comunes.	Secos estables. Mojados muy mal drenaje, se embachan y dificultan el tráfico de ruedas y esteras.
6	Turbosos	Turbas e impurezas de arenas. Pantanos y bosques, valles anegadizos	Húmedos practicables sólo a pie. Secos posible estera y ruedas.
7	Loess	Partículas finas de polvo (0.05 – 0.005 mm) impurezas de arena y arcilla.	Secos muy compactos y muy polvorientos. Húmedos
8	Salinos	Arcillosos y gredosos salinos, y salados.	Secos transitables. Húmedos difíciles para el tráfico incluso a pie.

Atendiendo a los criterios descritos en la tabla 3.1 y a las descripciones geológicas realizadas se confeccionó un modelo de susceptibilidad al empantanamiento por litología. Los valores definidos tienen un rango de 1-10 con mínimo en las zonas pedregosas y máximo para los sedimentos cuaternarios y en las zonas de desarrollo de materiales arcillosos.

La continua exposición de los suelos del nivel superior desarrolla un corte variable en profundidad, (perfil de suelo característico) desde la superficie del terreno hacia abajo. En la formación del perfil participan diferentes mecanismos: la acumulación y la pudrición de la materia orgánica, la lixiviación, la precipitación, la oxidación o reducción, la meteorización adicional.

El resultado final depende de los materiales originales del depósito, y de lo que es aún más importante, de los factores ambientales:

- Temperatura.
- Cantidad y distribución de la lluvia por estaciones.
- Pendiente del terreno.
- Nivel del agua subterránea.
- Vegetación.

Estos factores son interdependientes, hasta cierto punto. No resulta fácil determinar, exactamente, la participación de cada uno.

El índice de empantanamiento se obtuvo evaluando los siguientes factores:

- **Pendiente (pd) y disección horizontal (dh):** Mide la manera en que el relieve evacua las aguas superficiales. El primero mide el gradiente horizontal, cuando la pendiente es baja las condiciones para que se infiltre en agua son mejores. Por otro lado una baja disección horizontal evidencia un mal drenaje del terreno.
- **Coefficiente de meteorización:** Se mide como el producto de la cantidad de familias (**jn**) y densidad de agrietamiento (**df**).
- **Acumulación:** Mide la probabilidad de infiltración de las aguas superficiales.
- **Profundidad del manto freático (Pmf):** Medida a partir del mapa de polibasitas de tercer orden.

La expresión [3.2] fue la utilizada en los cálculos de susceptibilidad al empantanamiento:

$$Sempant = Lito \left[Jn.Df \frac{Log (Acum)}{DhPdPmf} \right] \quad [3.2]$$

donde: Lito factor litológico.

Jn*Df.- Índice de percolación

Acum.- acumulación

Dh.- disección horizontal.

Pd.- pendiente.

PMF.- potencia de la zona de aereación.

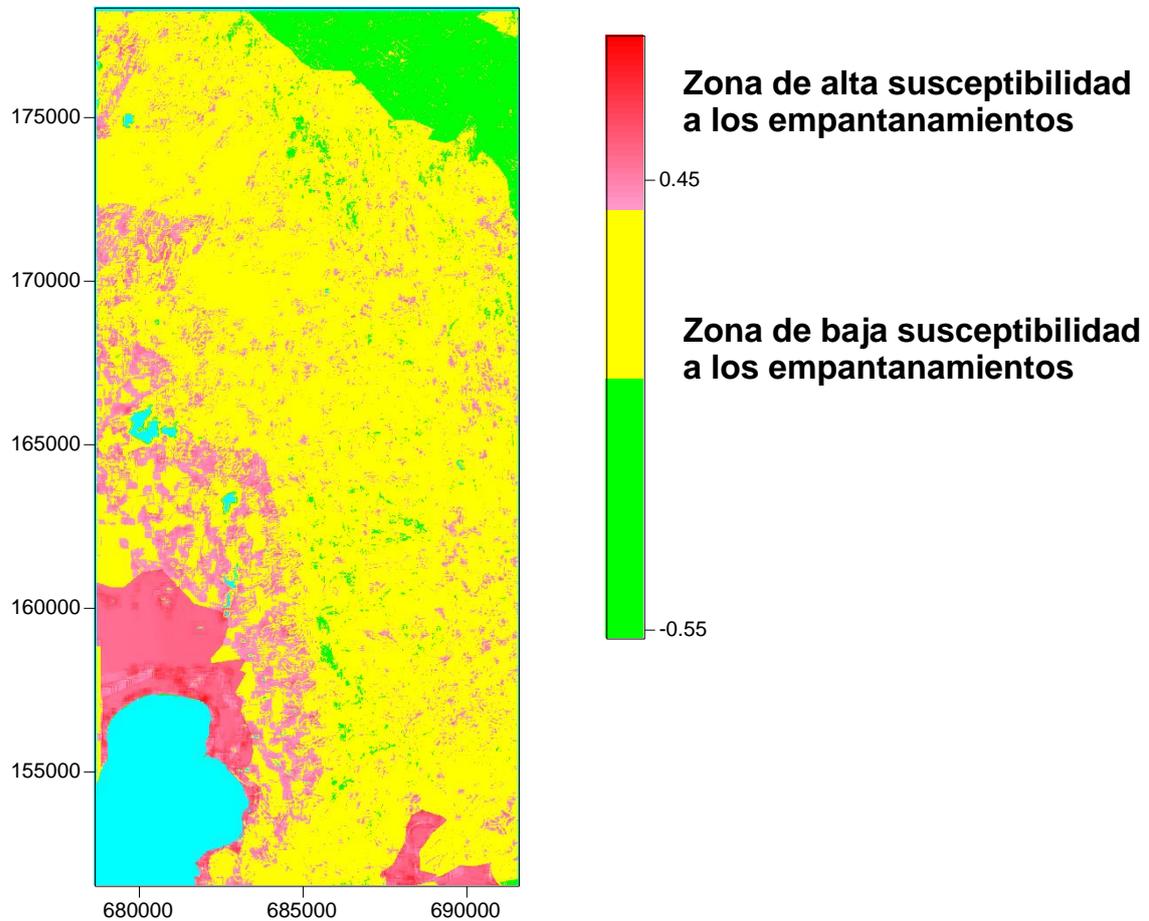


Fig. 3.2.- Mapa de susceptibilidad al empantanamiento.

En la figura 3.2 se pueden observar las zonas susceptibles a empantanamiento y que se pronostican por tanto como las zonas más favorables para la ocurrencia de este fenómeno.

Evidentemente las zonas más propensas son las que se encuentran hacia los alrededores de la Bahía de Guantánamo en la cual se reporta la existencia de pantanos importantes, así como hacia la desembocadura o los cursos bajos de los ríos Yateras y Guaso.

Los sectores donde se distribuyen las rocas de la Formaciones San Luís presentan un alto grado de susceptibilidad a empantanarse en momentos en que el nivel freático alcanza niveles altos, aunque el fenómeno no se presenta de manera permanente.

En el caso del empantanamiento se trabajó a manera de comprobación con los datos estadísticos de manifestación de las variables que intervienen en el proceso, dando un peso relativo a cada una de ellas, normalizando estos valores respectivos hasta llegar a la síntesis de las mismas con el programa del mismo nombre, obteniendo resultados similares, lo cual valida lo observado en la figura 3.2

III.3.- Pronóstico para la ocurrencia de manifestaciones cársticas (Anexo 9).

Desde el punto de vista ingeniero-geológico la presencia de este fenómeno resulta perjudicial para este tipo de obra (Túneles), ya sea desde el punto de vista estructural, induciendo al fallo de las obras construidas (presencia de hundimientos) o actuando como elemento disparador de otros eventos como los deslizamientos, debido a la pérdida del apoyo en taludes de materiales friables.

Modelando desde el punto de vista físico-matemático, el fenómeno de la carsificación Astraín 1998, se realizó el pronóstico del Carso, partiendo de un conjunto de principios tales como:

- Las características de las rocas.
- La disponibilidad de agua acidulada.
- Las vías del movimiento del agua acidulada en el interior del macizo
- Variaciones del proceso con el tiempo de actuación.

El área de estudio tiene una distribución de rocas solubles relativamente pequeñas, por lo que no se tuvo en cuenta las variaciones climáticas dentro de ellas (espacio y tiempo). El pronóstico y evaluación de los procesos cársticos permite la ubicación tanto de objetivos constructivos, así como ayudar a enfrentar su estudio a escalas mayores, de detalle, de modo más eficiente.

Para la corrida de los programas de pronóstico se realizaron un conjunto de tareas:

- Análisis litológico para establecer las rocas proclives a la carsificación.
- Evaluación de la disponibilidad de agua y grado de desarrollo del proceso, en las litologías carsificables, a partir del análisis de la Densidad del Drenaje (DD), la acumulación del agua en la superficie, o procedimientos afines que evalúen el comportamiento superficial del agua y la pendiente.

- Detección de las fracturas, por procedimientos combinados de exploración direccional en frecuencia de las imágenes y los modelos digitales del relieve.
- Generación de parámetros derivados de la facturación: densidad de fracturas modificada, general y por direcciones, cantidad de familias de fracturas evaluada, J_n , y Coeficiente de Percolación $J_n \cdot D_f$).
- Introducción de la influencia de los cambios del proceso de carsificación en el tiempo analizando y procesando las polibasitas.
- Estudio de la Neotectónica a partir de los datos morfométricos y su influencia en la carsificación.

Para el procesamiento automatizado del carso se utilizó un programa elaborado en la Agencia de Investigaciones Regionales de GEOCUBA que procesa todas las variables anteriores.

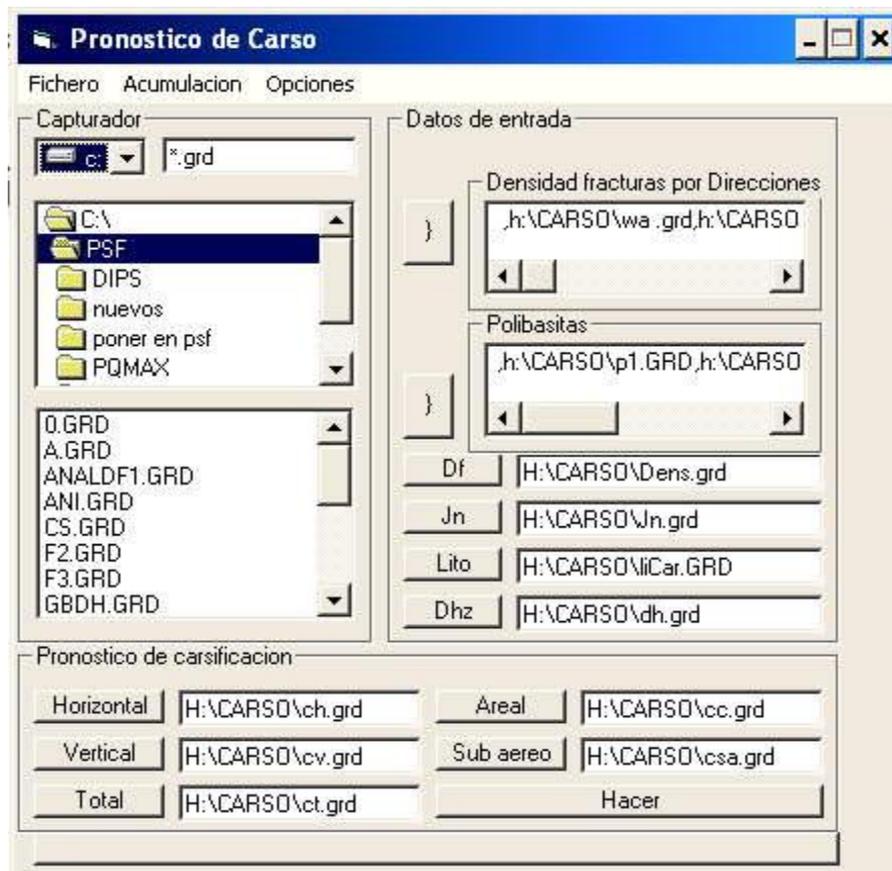


Fig. 3.3.- Programa para el pronóstico del carso.

En esta imagen se pueden observar las variables que se introducen para el pronóstico y las manifestaciones de este que resultan del análisis.

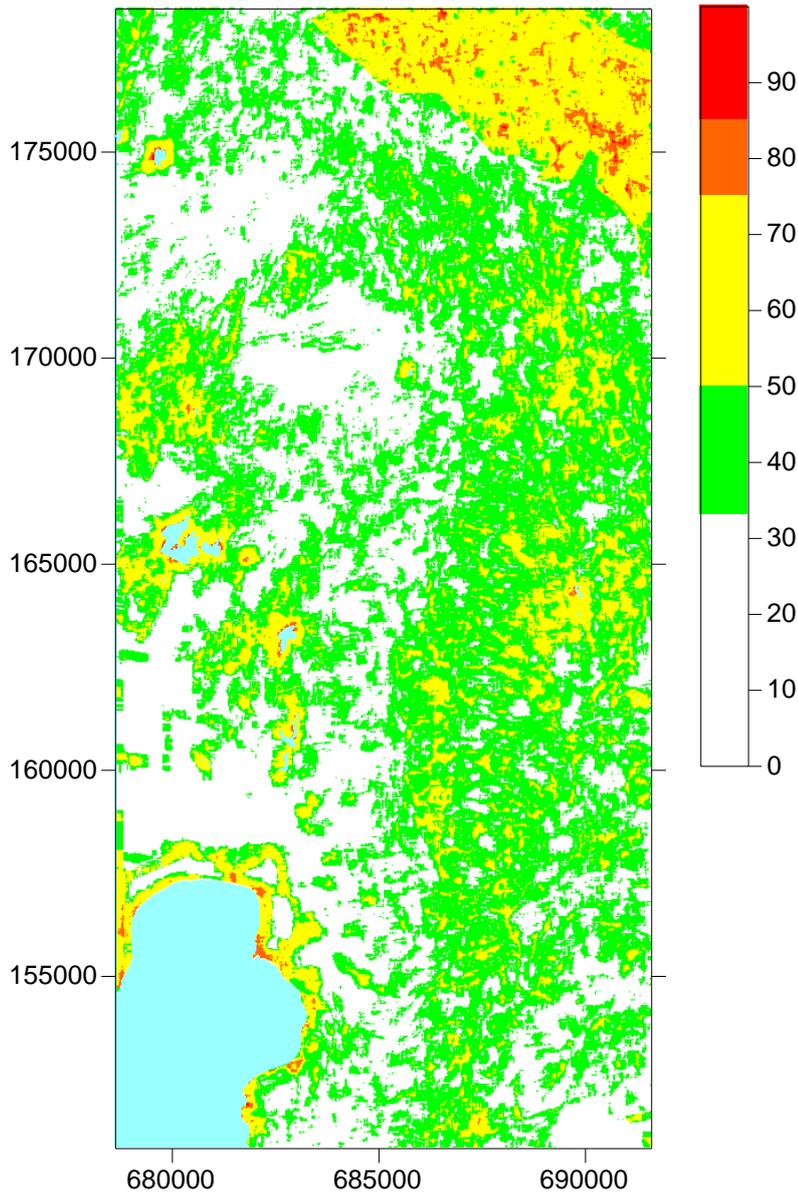


Fig 3.4.- Mapa de pronóstico del carso.

En la figura anterior se expresan las áreas susceptibles a una ocurrencia del carso por encima del 50 %, entre el 50 % y el 33 % y por debajo de este último en que estamos considerando que el fenómeno no se presenta.

La simple observación del mapa evidencia que el sector noroeste es el más afectado por el proceso de carsificación toda vez que allí se dan las mejores condiciones para la ocurrencia del mismo al existir una secuencia relativamente con una alta distribución de rocas carbonatadas pertenecientes a la Formación Yateras, en la cual como se conoce de la literatura y como fue observado durante los trabajos de campo el carso tiene una importante manifestación.

Hay que tener en cuenta que algunos sectores donde el pronóstico es alto, el mismo está condicionado por variables que localmente tienen una alta influencia, como pueden ser Df, Jn o Dh, por encima del factor litológico que es el esencial, pudiendo provocar confusiones si no se tiene claridad de la distribución de las rocas solubles. Este caso en particular se produce en los alrededores de la Bahía de Guantánamo, donde no es posible la presencia del fenómeno.

III.4.- Pronóstico de las zonas de máxima densidad del agrietamiento.

Para el tratamiento del agrietamiento se trabajó en lo esencial con el procesamiento del relieve, buscando las zonas de máximos de alineaciones por direcciones y el análisis para el área en su conjunto. Este proceso se realiza con un programa denominado exploración en frecuencia.



Fig. 3.5.- Programa Exploración en frecuencia para el procesamiento del agrietamiento.

Hay que tener en cuenta que las zonas de máxima densidad deben ser comprobadas en condiciones de campo pues de forma automatizada no es posible distinguir que alineaciones pueden ser de origen tectónico o no.

En el mapa de Densidad de agrietamiento expuesto en el capítulo I, se expresan las zonas de máxima, media y mínima densidad de alineaciones en m/Ha (fig.), Realizándose el análisis completo del proceso para la región.

Hay que decir que para la construcción del trasvase este proceso es de suma importancia por cuanto determina por encima de cualquier otro la calidad del macizo rocoso, orientando las variantes preliminares para el trazado de la obra.

III.5.- Breve caracterización de los procesos erosivos.

El proceso erosivo (pérdida de suelo) no pudo modelarse a pesar de contar con las herramientas para ello a través de la USLE (Ecuación Universal de pérdidas de suelo):

$$A = RKL_sCP \quad (3.3)$$

Donde:

A: pérdida expresada en Tn/Ha.año

R: factor dependiente de la agresividad del clima

K: factor que depende de las características del suelo

L_s: depende de la pendiente y la longitud de la misma

C: depende de la cobertura vegetal

P: depende de las prácticas de cultivo

No se contó con dos factores fundamentales para la aplicación de la fórmula empírica USLE, la clasificación geomecánica de los suelos del área o al menos la agrícola para ser transformada al sistema único de clasificación de los suelos (SUCS), según Astraín (1995), ni con los datos correspondientes a las características climáticas con suficiente confiabilidad.

Se realizaron algunas observaciones de campo con el objetivo de caracterizar al menos de forma cualitativa este proceso.

La zona posee en gran parte de su superficie una escasa vegetación, lo cual favorece la pérdida de suelo, en tanto que las escasas e intensas precipitaciones son también un factor acelerador de la misma, sobre todo en las zonas cercanas a los ríos.



Fig. 3.6.- Proceso de acarcavamiento en las márgenes del arroyo Cañada Victoria afluente del río Ciro Frías de la Fm San Luis.

En la figura anterior se observa una cárcava o barranco en la ubicación citada y que posee una profundidad en la cabecera de algo más de 2 m. Este fenómeno es bastante frecuente en todos los cursos fluviales.

Las características de las rocas y suelos presentes en la zona son favorables para la denudación de los mismos al tratarse en general de materiales deleznable y margosos, con presencia muy baja de rocas duras y compactas.

Existe en la región así mismo una fuerte manifestación de la meteorización física, evidenciada por la presencia de suelos arenosos poco transformados en correspondencia con las características climáticas.

Se puede concluir que la manifestación de los procesos y fenómenos físico – geológicos en el área no se expresan de manera continua para ninguno de ellos, excepto la erosión y la meteorización, lo cual está determinado por la pobre distribución superficial que poseen

los distintos tipos de rocas y los fuertes contrastes entre la zona de llanura y montañosa que se separan a través de un escarpe que determina la existencia de dos zonas donde las pendientes son bastante homogéneas para cada una de ellas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

- Los procesos y fenómenos físico – geológicos estudiados no tienen una fuerte manifestación en la zona que se estudia para la construcción del trasvase Yateras – Guaso.
- El empleo del MDR, como elemento para la obtención automatizada de diferentes variables morfométricas, conjuntamente con otros métodos contribuye al establecimiento de elementos geológico – tectónicos indispensables para la planeación regional, con un costo mínimo de las comprobaciones directas.
- Se estableció el pronóstico de ocurrencia espacial de los principales procesos y fenómenos físico geológicos existentes en la zona de los trabajos.
- Está debidamente comprobada y argumentada que la tendencia general de los movimientos verticales es positiva con sectores retardados relativamente pero siguiendo la dirección general de los movimientos.
- Según los mapas de diferencias de isobasitas la zona en general presenta una fuerte tendencia al levantamiento.
- Se establecieron las zonas donde los procesos y fenómenos físico geológicos pueden tener una mayor o menor manifestación e intensidad, caracterizándose los rangos de probabilidad de ocurrencia a partir de los umbrales establecidos.
- Se pudo comprobar la eficacia de los métodos utilizados ya que existe una lógica correspondencia entre las zonas de máxima probabilidad para la ocurrencia de determinados procesos y fenómenos físico – geológicos que nos brindan los mapas pronóstico y los observados en el campo.

Recomendaciones.

Como resultado de los trabajos realizados se considera oportuno realizar las siguientes recomendaciones:

- Informar a DIP Traslase Este – Oeste acerca de los resultados y a los organismos encargados de la planeación regional de los resultados obtenidos y de la necesidad

de su utilización a la escala de partida y menores en especial a aquellas instituciones relacionadas con la agroindustria.

- Trabajar en la obtención de datos geodésicos que permitan confirmar muchos de los presupuestos establecidos y sus magnitudes cuantitativas.
- Enriquecer la información estructural con los datos de la actividad sísmica ocurrida en el tiempo histórico en las zonas limítrofes al territorio estudiado.
- Realizar estudios de detalle en cada uno de los sectores establecidos como probables para la ocurrencia de uno u otro de los procesos y fenómenos físico geológicos estudiados.

RELACION DE ANEXOS GRAFICOS

ANEXO 1.- Mapa de relieve sombreado

ANEXO 2.- Mapa Geológico

ANEXO 3.- Mapa de Densidad de fracturas

ANEXO 4.- Mapa de cantidad de familias (Jn)

ANEXO 5.- Mapa de Hidroisohipsas

ANEXO 6.- Potencia Zona Aereación

ANEXO 7.- Mapa de Susceptibilidad a deslizamientos

ANEXO 8.- Mapa de Susceptibilidad al empantanamiento

ANEXO 9.- Mapa de Pronóstico de Carso

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.

1. Augusto O. Deslizamientos. Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Vol.1, Oficina regional de ciencia y tecnología, UNESCO, 1995.
2. Astraín P.J. et al. Metodología para el levantamiento ingeniero geológico regional básico. U.C.M, c. Habana. 1990
3. Blanco J., Proenza J. Terrenos geológicos de Cuba Oriental. Revista Minería y Geología, 1994.
4. Carralero N, et. Al. Geología de la región Palenque. Trabajo de Diploma. ISMM. 1976.
5. Carralero N. Análisis morfotectónico de la parte centro – occidental de la provincia de Holguín para el pronóstico de procesos y fenómenos físico – geológicos”. Tesis de Maestría. ISMM. 2006.
6. Colectivo de autores. 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. 1985.
7. Felicísimo A.G. El modelo digital de elevaciones. <http://www.ersimo.uniovi.es/~feli/.2004>.
8. García E. et. Al. Manual del curso de procesamiento digital de imágenes de teledetección. La Habana. Inédito. 1995.
9. Godin L, et. Al. Reply to the discussion by N. Eyle and A. Mohajer on “Analysis and reinterpretation of deformation features in the rouge river valley, Scarborough, Ontario. NRC Research press web. 2003.
10. González L. I. et. Al. Ingeniería Geológica. Pearson Education. Prentice may. España. 2002.
11. Guerra, F. Fotogeología. Universidad Autónoma de México. 1980
12. Guilarte C.; P.J. Astraín: Sistema complejo de digitalización del relieve, análisis morfométrico, teledetección de fracturas y detección de estructuras disyuntivas. U.C.M, GER-CITEC, C. Habana. 1994.

13. Guilarte F. C. 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. 1993.
14. Hernández J.R., Lilienberg D., González R. Principales nudos morfoestructurales sismoactivos de Cuba septentrional. Ciencias de la tierra y el espacio, No.17, 1990.
15. Hernández J.R. y otros. Regionalización morfoestructural de la Sierra Maestra y de las depresiones circundantes. Revista Ciencias de la tierra y el espacio, No.17, 1990.
16. Hernández J.R, et. Al. Estilos geotectónicos bidimensionales y tridimensionales interbloques: una nueva categoría geotectónica para la determinación de morfoestructuras montañosas. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. México 2006.
17. Instituto Cubano de Geología y Paleontología. Léxico estratigráfico de Cuba. La Habana. 1991
18. Iturralde M. Sinopsis de la constitución y evolución geológica de Cuba. Inédito, 1997.
19. Iturralde-Vinent, M. Cuencas sedimentarias del Paleoceno-Eoceno de Cuba, Soc. Venezolana de Geol., 20(1-2). 75-80. 1995.
20. Iturralde M A. Los movimientos tectónicos en el desarrollo platafórmico de Cuba. Geologie e Mingbow. Holanda. 1978
21. Jain V. E. Geotectónica General. Parte I. Editorial Mir, Moscú, 1980.
22. Jakus P. y otros. Informe sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1:50 000 y búsquedas acompañantes en el polígono V, CAME-Guantánamo. Inédito. E.G.S., 1990.
23. Knipper A. y Cabrera R. Tectónica y geología histórica de la zona de articulación entre el mio y el eugeosinclinal y el cinturón hiperbasáltico de Cuba. Publicación especial No.2, I.G.P., Contribución a la geología de Cuba., ACC, 1974.
24. Labrada R. A. Análisis morfotectónico de la parte centro septentrional de la provincia de Holguín. Trabajo de Diploma. ISMM. 2008.

25. Leyva P. C. Estudio Ingeniero – geológico regional de la Península del Ramón de Antilla. Tesis de Maestría. ISMM. 2001.
26. López Vergara, M.L. Manual de Fotogeología. Madrid. España. 1971
27. Magaz A.R. Principales problemas actuales de la geomorfología de Cuba y su importancia en la economía nacional. Ciencia de la Tierra y el Espacio, No.15-16, 1989.
28. Nagy N. Ensayo de las zonas estructuro faciales de Cuba oriental, contribución geológica de Cuba oriental. Editorial Ciencia y Técnica, ACC, 1983.
29. Nagy E. y otros. Informe de los trabajos de levantamiento geológico para el mapa en escala 1: 250 000 del territorio de la antigua provincia de Oriente. ACC, 1976.
30. Nuñez Jiménez A. Cuevas y Carso. EMFAR, 1984.
31. Oliva G. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía, ACC, 1989.
32. Orbera L. Sismicidad de la parte oriental de Cuba como índice de la actividad tectónica actual. Revista Boletín de la S.C.G., Primer congreso cubano de geología, 1989.
33. Orbera H. L. Neotectónica y sismicidad de Cuba oriental. Tesis de doctorado. 1985
34. Ortiz M. Análisis mineralógico de las tobas zeolitizadas de la región Palenque. Trabajo de Diploma. ISMM. 1976.
35. Pedraza Gilsanz J de, Geomorfología fluvial y lacustre. Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda. Madrid, 1996
36. Pedraza Gilsanz J de. Geomorfología litoral. Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda. Madrid, 1996. Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda. Madrid, 1996
37. Pedraza Gilsanz J de. Dinámica de laderas. Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda. Madrid, 1996
38. Pedraza Gilsanz J de. La red hidrográfica. Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda. Madrid, 1996

39. Pedraza Gilsanz J de. El medio hídrico. Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda. Madrid, 1996
40. Pedraza Gilsanz J de. Geomorfología fluvial y lacustre. Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda. Madrid, 1996
41. Portela A. Relieve, Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de Cuba, 1989.
42. Proenza J, Carralero N. Condiciones paleotectónicas y de sedimentación de las formaciones Sabaneta y Vigía según el modelo de una cuenca de retroarco. Rev. Minería y Geología. Nº 1 / 96.
43. Quintas F., Cobiella J., Campos M. Estratigrafía y tectónica de Cuba oriental y Camagüey. Departamento de Geología, I.S.M.M., 1985.
44. Rodríguez I, A. Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. Tesis doctoral, I.S.M.M. 1999
45. Rodríguez A, Carralero N, Conde M. Estudio de las estructuras sismogeneradoras Quesigua y El Medio al este de la ciudad de Moa. Rev. Minería y Geología. Vol. XVII, Nº 2 y 3. 2000.
46. Rodríguez O, Carralero N. Estratigrafía de la articulación del anticlinorium Camagüey – Holguín y la depresión de Nipe. Rev. Minería y Geología. Nº 1 3 / 86. 1986
47. Rodríguez W. Cartografía automatizada. Dpto. de Geofísica. ISPJAE. Inédito. 2000.
48. Rodríguez W. Sistemas de Información Geográfica. Dpto. de Geofísica. ISPJAE. Inédito. 2000.
49. Rodríguez, H. Geología de Arenal de Yateras. Trabajo de Diploma. ISMM. 1977.
50. Rossiter D, Rodríguez M.F. Construcción de modelos digitales de terreno para la evaluación de tierras. Venesuelos. Venezuela. 1993
51. Tapia M. E. Breve memoria explicativa del Mapa Geológico 1:50 000 del polígono CAME IV, Holguín. 1982.

52. Urrutia J. Rotación de bloques en sistemas de fallas de desplazamiento lateral en cuencas tensionales. *Geofísica Internacional*, Vol. 28, México, 1989.
53. Vargas Cuervo G. Metodología para la cartografía de zonas de susceptibilidad a los deslizamientos a partir de sensores remotos y S.I.G. *Boletín geológico*, Ingeominas, Vol. 34, No.1, Colombia.
54. Ximenes F. Erosión y la ocupación rural y urbana. Aspectos geológicos de la protección ambiental, Vol. No.I, Oficina regional de ciencia y tecnología, UNESCO, 1995.