

Estudio Geólogo-Geomorfológico de un sector de la Provincia de Pinar del Río.

**Ing. Norberto Díaz Rivero, Ing. Carlos E. Valdés Moreira,
Ms. Ing. Kelma Zubiatur Chapman.
Grupo de Estudios Regionales.
Calle 20 entre 18A y 47. Ciudad de la Habana. Cuba.
Email: norber0817@hotmail.com**

Resumen:

En el presente trabajo se muestra el Modelo Digital de Elevación (MDE) y la Red de Drenaje Superficial (RDS) de un sector de la provincia de Pinar del Río (Sierra del Rosario) y un grupo de mapas geológicos y geomorfológicos obtenidos a partir de procesos automatizados aplicados al MDE y la RDS.

El MDE y la RDS se confeccionan a partir de la digitalización de las planchetas topográficas a escala 1:10000, empleando para ello un grupo de sistemas automatizados.

Entre los mapas obtenidos están, los Mapas de Sombras del MDE, el Mapa Hipsométrico del Relieve, el Mapa de Disección Vertical, el Mapa de Disección Horizontal, el Mapa de Componentes Principales, los Mapas de Isobasitas y un Esquema Tectónico de la región de estudios.

Con la información contenida en estos mapas, se pueden realizar estudios geólogo-geomorfológicos que pueden esclarecer eventos del desarrollo geológico-tectónico de la zona, así como pueden servir también para realizar estudios medioambientales.

Estos mapas también pueden ser utilizados en etapas preliminares de las investigaciones ingeniero-geológicas con buenos resultados y con la finalidad de orientar posteriores trabajos de detalle.

La utilización del Modelo Digital de Elevación y la Red de Drenaje Superficial para las investigaciones geológicas, permiten un consumo mínimo de tiempo y recursos, así como la posibilidad de poder contar con la información en formato digital para futuros trabajos.

Abstract:

The present work shows the Digital Elevation Model (DEM) and Surface Drainage Network (SDN) of a Pinar del Río sector (Sierra del Rosario) and a group of geologic and geomorphologic maps, obtained from automatic processes applied to the DEM and SDN.

DEM and SDN were obtained from the digitalization of topographical sheets to scale 1:10000, using for this purpose, some softwares.

Among the obtained maps are the shade maps of the DEM, the hypsometric relief map, the vertical and horizontal dissection maps, the map of the main components, the isobathic map and a tectonic scheme of study region.

With the information contained in these maps, geologic-geomorphology studies, which might clarify events of the geologic/tectonic development of the area, can be carried out. They can also be used in environmental studies.

These maps can also be used with good results in preliminary stages of the engineering-geologic researches and with the aim of giving guidance on subsequent detailed works.

The use of DEM and SND for the geologic researches allows a minimum consumption of time and resources, as well as the availability of the information in digital format for future works.

Introducción.

Hasta la década de los años 80 aproximadamente era extremadamente trabajoso y engorroso confeccionar mapas geológicos y geomorfológicos ya que se realizaban manualmente, con la introducción además de errores. Ya en los 90, la computación tuvo un desarrollo vertiginoso, tanto en hardware como en software y por lo tanto muchas tareas que el hombre realizaba a mano ahora se han automatizado. Una de estas actividades es precisamente la confección de mapas temáticos de geología.

Nuestro departamento se dio a la tarea de desarrollar una serie de software con este objetivo, ahorrando gran cantidad de tiempo, haciendo el trabajo más fácil para el hombre y sobre todo aumentando muy significativamente la calidad del producto obtenido, porque ya no se introducen los errores de antes y los mapas obtenidos son mucho más exactos.

Por lo tanto, el presente trabajo no es más que una aplicación de ese sistema que se instaura a mediados de los años 90 en nuestro departamento.

Este es un estudio geólogo-geomorfológico regional básico, de un sector de la Provincia de Pinar del Río con el empleo de técnicas automatizadas. El área estudiada se enmarca entre las siguientes coordenadas planas.

x: 277000 - 317000

y: 325000 - 357000

El trabajo comienza con la creación del Modelo Digital de Elevación (MDE) y la Red de Drenaje Superficial (RDS) del área de trabajo, partiendo de la digitalización de las hojas cartográficas a escala 1:10000 de la región de estudios.

Al MDE y la RDS se le aplican entonces un complejo de métodos morfométricos y geomorfológicos automatizados, con los cuales obtenemos un grupo de mapas temáticos, a estos posteriormente se les realiza una interpretación compleja obteniéndose los elementos necesarios para contribuir al enriquecimiento del estudio geológico, así como para un análisis estructural del área.

Para estos fines se emplean varios sistemas automatizados creados en nuestro departamento, así como otros softwares reconocidos en esta esfera como son el Telemap, TN Estudio, Autocad Map y Surfer.

Capítulo I. Materiales y métodos.

Para llevar a cabo la tarea asignada primeramente se inició un estudio de toda la bibliografía existente en el departamento que nos ayudaría en la posterior realización del trabajo. Seguidamente y teniendo en cuenta la existencia de hojas cartográficas a escala 1:10 000 y equidistancia entre curvas de nivel de hasta 1 metro en las zonas llanas, se procedió a la preparación de las mismas para la digitalización de todos los datos que intervienen en la confección del Modelo Digital de Elevación (MDE), para ello trazamos todas las corrientes superficiales que existen en el área (cañadas, ríos y corrientes intermitentes) con su correspondiente ordenamiento fluvial. Es necesario señalar la utilización del programa Cot_ríos desarrollado en el grupo, el cual le asigna las cotas a los ríos a partir de las curvas de nivel. Todos los datos (red de drenaje, parteaguas, curvas de nivel, puntos de cimas y depresiones) fueron digitalizados y a partir de ellos, se generó una matriz regular mediante el software Surfer, utilizando el método Krigging de interpolación, con un radio de influencia de 300 metros y ocho puntos por octante, quedando una matriz resultante con una densidad de 10 000 puntos por km². La cual fue correctamente validada por la correspondencia con las curvas de nivel de las hojas topográficas.

Finalmente con los ríos y partidores interpolados y el resto de los datos digitalizados usted genera el MDE. Teniendo como base el MDE se puede entonces trabajar en la realización de varios mapas morfológicos y morfométricos como son :

Mapa hipsométrico del relieve, mapas de sombras del MDE, mapa de disección vertical del relieve, mapa de disección horizontal del relieve, mapa de pendientes, mapa de aspecto de la pendiente, etc.

También se puede realizar el análisis de componentes principales, obteniéndose un mapa falso color de las componentes principales, así como el mapa de la red de drenaje de cuyo análisis se obtienen a su vez nuevos mapas como los de isobasitas o los de poliisobasitas.

También a partir del análisis del MDE y la RDS se puede llegar a conclusiones sobre las estructuras del área y confeccionar un esquema tectónico de la región.

Capítulo II. Regionalización Geomorfológica.

El área forma parte del distrito Pinareño, la misma está constituida por los siguientes subdistritos:

- 1) – Subdistrito de las montañas de Guaniguanico.
- 2) – Subdistrito de la llanura costera y alturas septentrionales occidentales.

Subdistrito de las montañas de Guaniguanico:

Representado en nuestra área de trabajo por las alturas y montañas de la Sierra del Rosario.

Este grupo de paisajes ocupa la porción centro-oriental de la provincia de Pinar del Río, más cerca de la costa norte que de la sur.

Limita al norte con el grupo de paisajes de Bahía Honda, al sur lo hace con el paisaje de San Juan y Martínez-Candelaria, a lo largo de la falla Pinar; al este con el distrito Habana Matanzas, a lo largo de los Ríos San Francisco al norte y Pedernales al sur, y al oeste con el grupo de paisajes Los Órganos, a lo largo de los Ríos Los Puercos al norte y Caiguanabo o San Diego al sur. Su extensión superficial es de unos 850Km².

Los principales complejos territoriales naturales de este grupo de paisajes son:

- Altiplanicie de Cajálbana con una altitud máxima de 464m y cuya ladera septentrional es menos escarpada que la meridional. Entre 350 y 400m se encuentra una superficie de aplanamiento, donde ha sido construido el Instituto Politécnico Forestal "Invasión de Occidente" y la Filial Universitaria.
- Guajaibón, conjunto montañoso cuyo pico culminante, el Pan de Guajaibón, constituye la mayor elevación del Occidente de Cuba (699m), la cual se encuentra horadada por un sistema de cuevas fluviales.
- Sierra del Rosario, conjunto de montañas bajas que alcanzan su mayor altitud el "Pico el Toro" (678m), entre las que son frecuente las elevaciones con simas aplanadas.

Los suelos al igual que el complejo territorial natural de Guajaibón son predominantemente montañosos, rojos, calizos y en las depresiones de tipo aluviales.

El relieve influye en las características climáticas: las temperaturas medias anuales oscilan entre 17.8° y 20.5 °C en las montañas más elevadas, entre 22.7° y 23.7 °C en las llanuras; las lluvias medias anuales en las montañas cársicas son de 1800mm, en las montañas pequeñas y premontañas no cársicas de 1600 a 1800mm y, en las llanuras de 1400mm.

En los valles hay inversiones térmicas, por ejemplo, en Soroa; en el fondo de los valles la temperatura suele bajar mucho más que en las laderas, 200m más elevadas.

Los principales ríos presentan dos o tres terrazas fluviales en el fondo de sus valles y muchas veces han excavado verdaderos cañones de cientos de metros de profundidad. Aunque la mayor parte de la red de avenamiento es joven y está relacionado con las estructuras neotectónicas, una parte es antecedente y

presenta un notable desajuste con éstas, lo que contribuye a explicar las posibles capturas existentes en el área.

Entre los ríos más importantes podemos citar el Bayate y su afluente El Manantiales con su famoso salto en Soroa, el San Cristóbal, que es el mayor de la región y cuyo caudal y curioso curso pudieran explicarse por haber capturado la cuenca superior del proto-Bahía Honda; el Taco-Taco, con parte de su recorrido secundario al igual que el Santa Cruz, que presenta potente manantiales cársticos, el Mani-Mani y el Santo Domingo o Bacunagua, en cuya cuenca se encuentra el sistema cavernario Los Perdidos, con más de 25Km de galerías, uno de los más extensos del país.

Subdistrito de la llanura costera y alturas septentrionales occidentales:

Representado en el área por las alturas y llanuras de Bahía Honda.

Ocupan el noreste de la provincia de Pinar del Río, es decir, el extremo nororiental del municipio La Palma y una parte considerable del municipio Bahía Honda; así como el extremo noroccidental de la provincia La Habana.

Sus límites son al norte el Golfo de México; al sur, El Rosario, al este las Alturas del Mariel, del distrito Habana Matanzas, a lo largo del Río San Marcos. Su extensión superficial es de unos 625Km².

Entre los complejos territoriales naturales podemos citar:

- Alturas del nordeste de Pinar del Río, colinas residuales erosivo-denudativas que alcanzan hasta 150m de altitud.
- Llanuras onduladas fluvio-denudativas disecadas, de una altitud promedio entre 100 y 40m.
- Llanuras costeras fluvio-marina, disecadas con terrazas marinas de una altitud promedio de entre 40 y 20m, localmente basculadas hacia las cuencas de las bahías lo que puede llegar al nivel del mar, presenta algunas elevaciones relícticas que pueden alcanzar hasta 40 y 70m de altura.
- Faja costera de terrazas marinas, hacia el litoral, con dos terrazas, la más alta de un promedio de 10 a 20m, abrasivo-denudativa, ligeramente disecada y la otra más baja, es abrasivo-acumulativa no disecada de una altitud de 5m o menos.

La costa es de sumergimiento reciente, con bahías de bolsa como las de Bahía Honda y Cabañas y rías como la Bahía de Ortigosa.

Los principales ríos que atraviesan este grupo de paisajes nacen en El Rosario y son, de oeste a este, San Marcos, Las Pozas y Mani-Mani o San Miguel que desembocan en la mulata, el Bahía Honda, El Montaña y el Nazareno, que afluyen a distintos lóbulos de Bahía Honda; los ríos Moreno y Santiago, que desaguan en la Bahía de Ortigosa y por último La Plata y Dominica formados por el Río San Francisco y su afluente, el arroyo San Sebastián, que desemboca en la Bahía de Cabañas.

Algunos de estos ríos, como el Nazareno, el Santiago y el Montaña, presentan una amplia llanura aluvio-marina acumulativa o plano de inundación.

Capítulo III. Análisis Morfológico y Morfométrico.

Del procesamiento del MDE resultaron los siguientes mapas:

3.1. Mapas morfológicos:

3.1.1. Mapa Hipsométrico del Relieve (Figura 1):

Este mapa facilita la apreciación del relieve destacando sus características más relevantes, esto se logra si coloreamos el mapa con una gama adecuada de colores, obtenida de un análisis según criterio estadístico, donde el carácter multimodal de la matriz de cotas generada indica vínculos entre el relieve, rasgos estructurales y litológicos, señalando que la historia del área está directamente asociada a ellos (Astrain et al, 1995).

Con este objetivo se estudió el comportamiento estadístico del MDE haciéndose un análisis de su histograma de distribución a través de un programa propio del grupo creado para este fin, lo que demostró su comportamiento logarítmico-normal multimodal, quedando de esta manera los siguientes umbrales significativos: 0,30, 60, 150, 300 m, estos sirvieron de base para el coloreado del mapa.

Los valores más bajos (0-30 metros), se corresponden con las terrazas marinas que se desarrollan al norte del área de trabajo y cerca de la costa.

Valores entre 30 y 60 metros: se corresponden mayormente con las llanuras costeras fluvio-marinas que se desarrollan en la zona norte del área, incluyendo los flancos de los ríos de mayor orden que desembocan en la costa norte.

Valores entre 60 y 150 metros: Corresponden a las llanuras onduladas fluvio-denudativas y a las alturas del noreste de Pinar del Río pertenecientes a las elevaciones septentrionales occidentales.

Valores entre 150 y 300 metros: Corresponden a las partes más bajas de las alturas y montañas de la Sierra del Rosario.

Valores mayores de 300 metros: Se corresponden con las zonas más altas del área de trabajo (Sierra del Rosario).

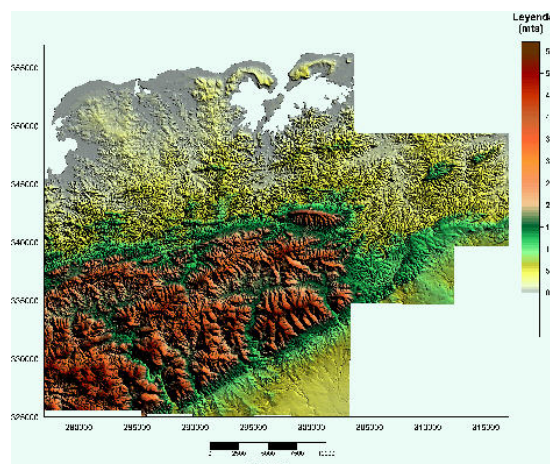


Figura 1. Mapa hipsométrico del relieve, sombreado.

3.1.2. Mapas de sombras del MDE (Figura 2):

La sombra constituye un elemento importante para resaltar los rasgos del relieve. Mediante el efecto del sombreado se logran visualizar los diferentes complejos litológicos a través de sus texturas características además de su marcado carácter estructural, al darnos una mejor visión del relieve, sin pasar por alto los efectos de deformación que provoca, pues los límites estructurales por supuesto no quedan bien definidos espacialmente, por lo que aplicamos el análisis en conjunto por varias direcciones que permite atenuar estos desplazamientos.

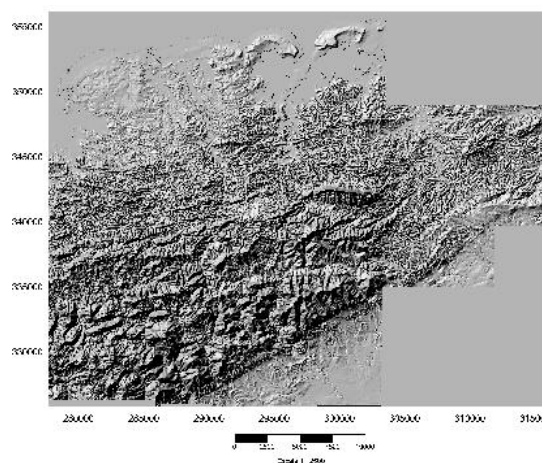


Figura 2. Modelo Digital de Elevación sombreado a 45° por el oeste.

3.1.3. Mapa de la Red de Drenaje Superficial (Figura 3):

De todos los factores que pueden conducir al esclarecimiento de las características geológicas de una región, el drenaje es uno de los de mayor importancia. De su análisis podemos aclarar litología, estructuras y líneas de debilidad tectónica. En el área existe un buen desarrollo de corrientes fluviales, las

cuales se organizan desde órdenes inferiores hasta ir ocupando órdenes superiores, incluso hasta ríos de orden 7.

La red de drenaje fue de gran utilidad en el análisis estructural del área, de ella se obtuvieron un buen número de estructuras, las que fueron incorporadas al mapa de estructuras, también nos fue muy útil en la delimitación de algunas estructuras circulares que se observan en la zona.

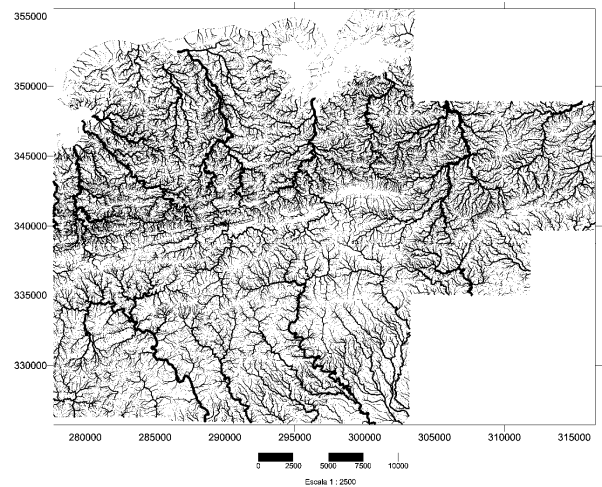


Figura 3. Mapa de la Red de Drenaje Superficial.

3.2 Mapas Morfométricos:

Para este análisis se calcularon los parámetros de disección así como el procesamiento del MDE con el programa Morf_grd con un paso y cuadrícula determinado. Para nuestro caso se tomó una resolución de 100 metros para el paso y 400 metros para la cuadrícula, de modo que con esta matriz de influencia se hace un barrido de toda el área, ubicando los valores calculados en el centro de las mismas.

3.2.1 Mapa de Disección Vertical del Relieve (Figura 4).

Resulta de la diferencia entre el nivel del río y el de los interfluvios que lo bordean (Oscilación del Relieve). A partir del MDT y con el programa Morf_grd se genera un modelo por diferencia entre la cota máxima y la cota mínima existente en la cuadrícula elegida.

La existencia de valores altos de disección vertical señala eventos tectónicos de mayor o menor envergadura, incluso de Neotectónica (encajonamiento de la red fluvial y formación de cañones). Generalmente su tendencia coincide con la tendencia general del relieve. El significado tectónico de su interpretación hace evidente zonas de interés y el procedimiento de la matriz de sus datos permite sacar conclusiones de valor Ingeniero-Geológico. En este mapa los tonos claros equivalen a los mayores valores de disección vertical y por consiguiente los tonos oscuros a los menores valores del parámetro.

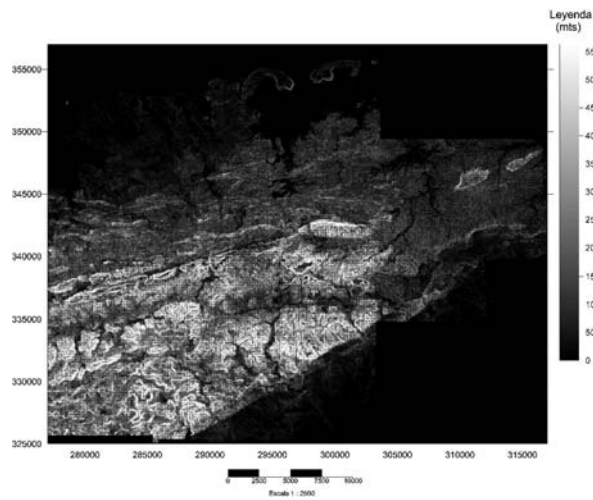


Figura 4. Mapa de Disección Vertical del relieve.

3.2.2 Mapa de Disección Horizontal del Relieve (Figura 5).

La longitud total de las corrientes fluviales dentro de un área, dividida entre el área es lo que conocemos como densidad total o Disección Horizontal del relieve, en nuestro caso utilizamos un radio de influencia (área) de 150 metros a través de un programa preparado con este fin, que además nos permite obtener las densidades, la cantidad y la longitud media de los ríos por órdenes a partir de los datos obtenidos por la digitalización de los mapas, los cuales constituyen parámetros útiles para el análisis estructural,

geodinámico y litológico; apreciándose diferencias sustanciales para distintas zonas de drenaje, permeabilidad, etc.

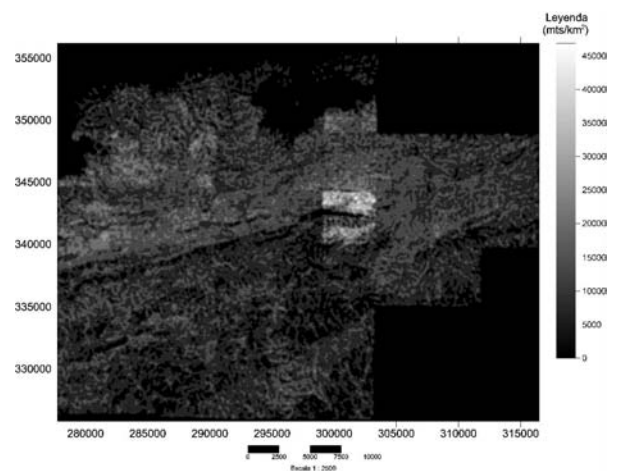


Figura 5. Mapa de Disección Horizontal del relieve.

En el análisis de este mapa se observan distintas zonas de drenaje. Los tonos claros corresponden a los valores altos y consecuentemente, los oscuros a los valores bajos.

3.2.3 Análisis de Componentes Principales (Figura 6).

Con la intención de reducir la información redundante de los mapas de disección vertical, pendiente de la disección vertical, desviación estándar de la disección vertical, coeficiente de variación de la disección vertical, cotas mínimas, cotas medias y cotas máximas; que resultan perfectamente correlacionables, se decidió hacer un análisis por componentes principales.

Para ello se empleó el sistema Image del módulo Telemap y para corroborar estos resultados también realizamos el proceso con el sistema TN Estudio para el procesamiento de imágenes, utilizando en ambos casos como bandas las imágenes correspondientes a los mapas mencionados en el párrafo anterior. El resultado de los cálculos se muestra en la tabla siguiente; destacándose en negrita las bandas predominantes en el componente resultante así como el porcentaje total de todas las bandas por las que el mismo está compuesto.

Bandas Utilizadas:

- 1- Disección Vertical (DV).
- 2- Pendiente de la Disección (PD).
- 3- Desviación Estándar (DE).
- 4- Coeficiente de Variación (CV).
- 5- Cotas Máximas (MAX).
- 6- Cotas Medias (MED).
- 7- Cotas Mínimas (MIN).

Componente	DV	PDV	DE	CV	MAX	MED	MIN	Por ciento
1	0.372	0.425	0.402	-0.021	0.426	0.416	0.406	79.339
2	0.313	0.359	0.348	0.588	-0.286	-0.320	-0.349	12.97
3	-0.132	-0.411	-0.139	0.790	0.226	0.237	0.249	5.312
4	0.479	-0.722	0.465	-0.170	-0.020	-0.046	-0.080	2.109
5	-0.715	-0.025	0.694	-0.011	-0.062	0.007	0.051	0.227
6	0.089	0.002	-0.015	0.007	-0.825	0.405	0.384	0.034
7	-0.045	0.003	-0.001	-0.002	0.016	0.708	-0.704	0.009

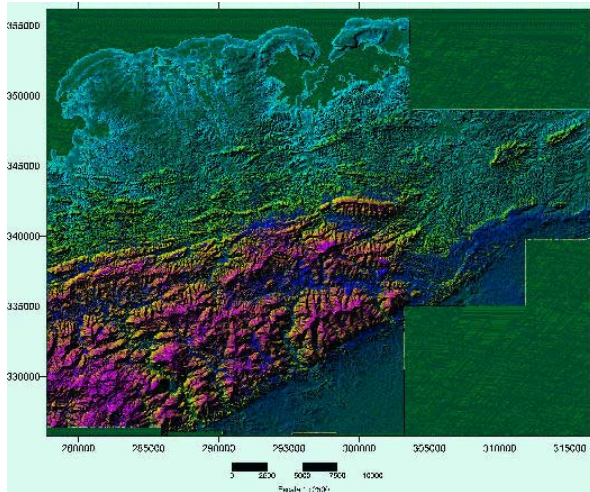


Figura 6. Mapa falso color de componentes principales.

Obteniéndose finalmente la imagen falso color de componentes principales según lo tradicional (RGB): primer, segundo y tercer componente para los canales rojo, verde y azul respectivamente con un nivel de significación de 97,621 por ciento.

Las tonalidades que presenta este mapa pudieran ayudar a una profundización del conocimiento litológico e ingeniero-geológico del territorio y estamos convencidos de que reflejan variaciones en el comportamiento de sus rocas.

Capítulo IV. Análisis de algunos mapas obtenidos a partir de la digitalización de la Red Fluvial.

4.1. Mapas de Isobasitas.

A partir de los datos obtenidos por la digitalización de las corrientes fluviales superficiales, se generó un modelo para cada uno de los órdenes fluviales presentes en el área, quedando un modelo polibásico característico para cada nivel. A la hora de analizar estos mapas tendremos en cuenta que ellos representan superficies con igual nivel de erosión; lo que nos permite realizar un análisis de la evolución del relieve y de los diferentes movimientos tectónicos que han influenciado en el desarrollado del mismo.

4.1.1. Isobasitas de 7^{mo} Orden (Figura 7):

Se observa un relieve tranquilo en casi toda el área, el cual se va elevando hacia el sur. En el extremo sudoeste de la región de trabajo aparece un bloque bastante elevado con respecto al resto del área.

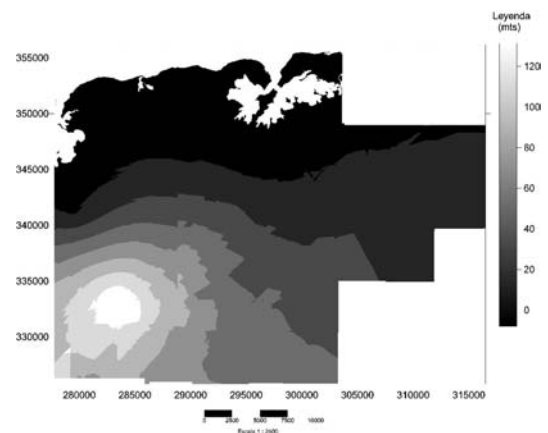


Figura 7. Mapa de Isobasitas de 7^{mo} Orden.

4.1.2. Isobasitas de 6^{to} Orden (Figura 8):

Se mantiene el relieve bastante tranquilo, se observa el mismo bloque descrito anteriormente, pero ahora mucho mejor definido y limitado por lo que pudiera ser una depresión que comienza a desarrollarse con dirección noroeste – sudeste.

Además comienza a desarrollarse otra elevación hacia el centro y sur de la región, limitada a su vez por una depresión que se desarrolla con dirección noreste - sudoeste.

También se observa un cambio algo más brusco del relieve hacia el centro del área, producido

4.1.3. Isobasitas de 5^{to} Orden (Figura 9):

Se encuentra mejor definida la división de la región en dos grandes zonas, una al norte, donde predominan las cotas bajas y el relieve más tranquilo, y otra del centro del área hacia el sur, donde predominan las cotas altas y el relieve más abrupto.

En esta segunda zona se definen con mejor claridad los dos bloques elevados descritos con anterioridad, divididos a su vez por la depresión que se encuentra al sudoeste, la cual ha alcanzado mayor desarrollo.

probablemente por movimientos tectónicos que se desarrollaron de este a oeste en la región.

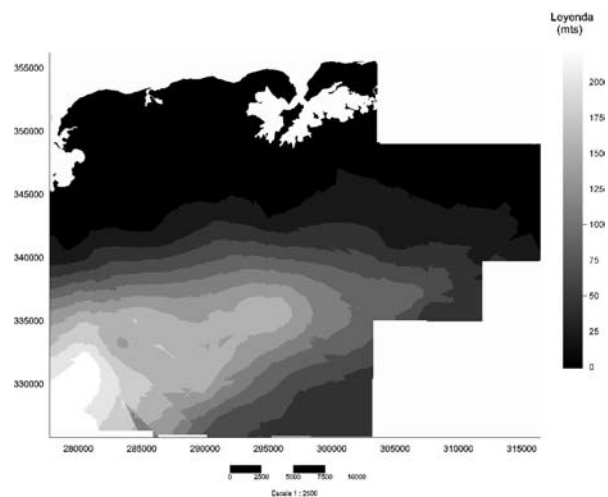


Figura 8. Mapa de Isobasitas de 6^{to} Orden.

Continúa desarrollándose la depresión que se encuentra al este.

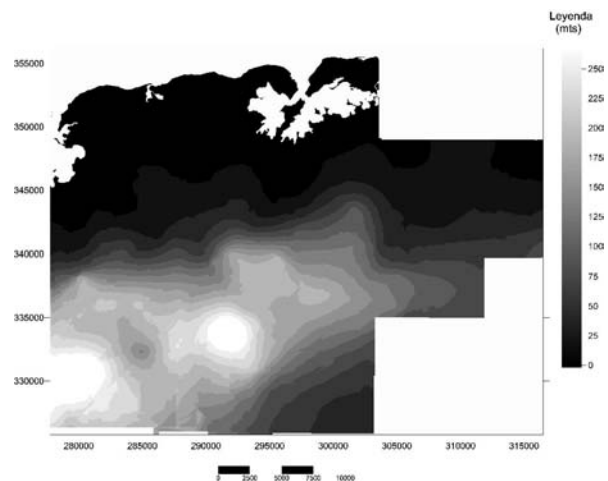


Figura 9. Mapa de Isobasitas de 5^{to} Orden.

4.1.4. Isobasitas de 4^{to} Orden (Figura 10):

El bloque que se encuentra hacia el sudoeste está completamente definido, rodeado prácticamente por la depresión que se venía desarrollando a su alrededor.

El bloque que se encuentra hacia el centro, ha comenzado a subdividirse, debido probablemente al desarrollo de nuevos eventos tectónicos, la depresión que se encuentra al este de este bloque ha seguido ganando en extensión y ha comenzado a desarrollarse otra en forma de cuña que va dividiendo en dos este bloque.

4.1.5. Isobasitas de 3^{er} Orden (Figura 11):

Comienza a aparecer un nuevo bloque elevado hacia el nordeste del área limitado a su alrededor por zonas muy bajas.

El bloque que se encuentra al sudoeste comienza a subdividirse debido a nuevos eventos tectónicos, la depresión que lo limita está muy bien desarrollada.

El otro gran bloque que había en el centro del área ya se encuentra subdividido en varios bloques más pequeños y la depresión que lo dividía ha logrado un gran desarrollo.

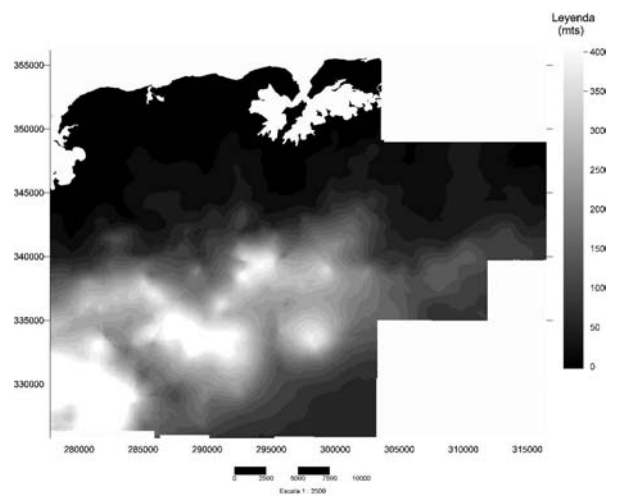


Figura 10. Mapa de Isobasitas de 4^{to} Orden.

La depresión que se encontraba al este de este último bloque se ha desarrollado tanto, que ya se extiende también al sur del mismo.

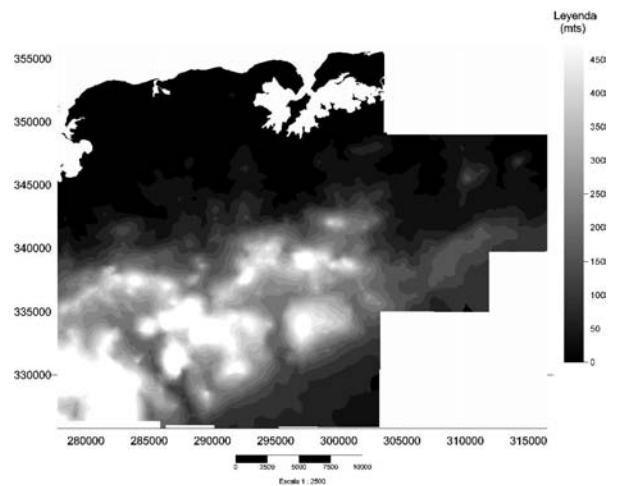


Figura 11. Mapa de Isobasitas de 3^{er} Orden.

4.1.6. Isobasitas de 2^{do} Orden (Figura 12):

Se encuentran muy bien definidas todas las zonas, los bloques elevados en general han obtenido formas alargadas que se desarrollan en dirección sudoeste – noreste, con excepción del área sudoeste, donde se mantienen las formas redondeadas.

Está muy bien definido la división de la región en dos grandes zonas, una al norte de cotas bajas y otra del centro del área hacia el sur, con predominio de las cotas altas y el desarrollo de extensas depresiones.

4.1.7. Isobasitas de 1^{er} Orden (Figura 13):

El análisis de estas isobasitas es similar al comportamiento del mapa hipsométrico debido a la alta cantidad de ríos de primer orden, los cuales por supuesto generan una superficie muy similar a la actual (MDR), por lo que no haremos comentario alguno.

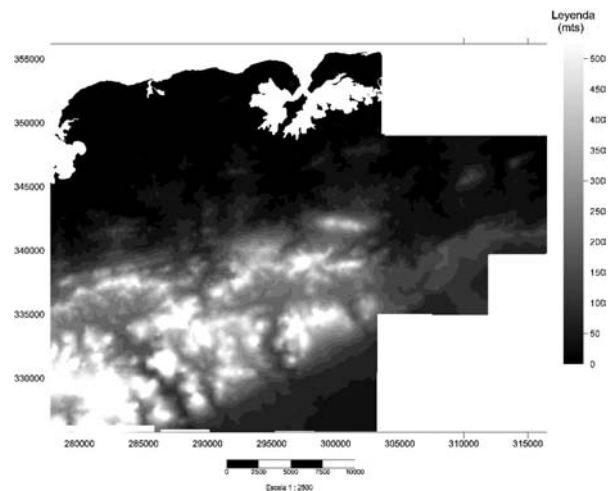


Figura 12, Mapa de Isobasitas de 2^{do} Orden.

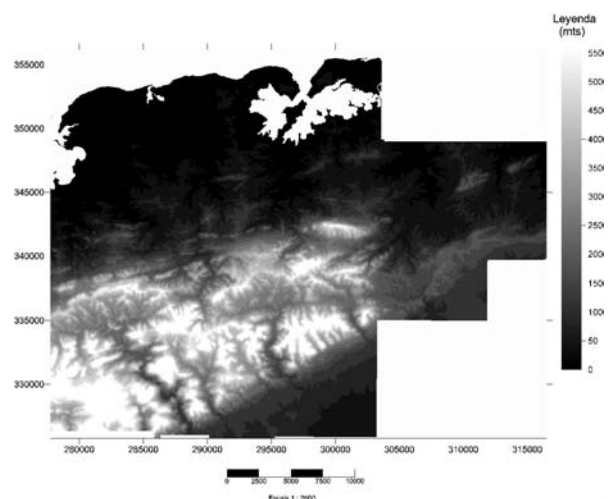


Figura 13. Mapa de Isobasitas de 1^{er} Orden.

Capítulo V. Análisis Estructural.

Pretendemos hacer un estudio de modo que podamos presentar un esquema que permita valorar de una forma sencilla y rápida el cuadro estructural de la zona de estudio, para ello nos propusimos hacer un análisis minucioso por separado de algunos criterios que pudieran aportar información de interés en el tema tratado y finalmente llegar al esquema estructural que refleje las principales estructuras dadas por la coincidencia de las mismas. Con este fin se procedió a la detección de

estructuras disyuntivas por niveles partiendo del procesamiento del Modelo Digital del Relieve como herramienta primordial de trabajo.

5.1. Determinación de estructuras Disyuntivas.

Para este fin quisimos aunar el resultado de una serie de procesos realizados, entre los que se encuentran, las imágenes siguientes:

Fallas Verticales: El software SURFER permite hacer este tipo de procesamiento al tener opciones para los cálculos de "Terrain Modeling", de esta forma buscamos un método que permita destacar los cambios en la concavidad del terreno y su posterior procesamiento, el cual resultó demasiado detallado, por lo que implementamos una metodología que suavice este efecto sin perder la tendencia del relieve (es decir, sin contemplar los cambios minuciosos de concavidad, que lejos de ayudarnos pudiesen constituir "ruidos" por el interés regional que perseguimos), donde por supuesto aquellos puntos de inflexión provocados por dichos cambios son los de mayor interés nuestro.

Se promedió el Modelo Digital de Elevación con radio de influencia de 400 metros, obteniéndose un Modelo Digital Residual que resulta de la diferencia del M.D.E con el M.D.E promediado, de este modo y con los procesos posteriores de threshold, detección de bordes y multiplicación por la pendiente del residuo, se obtuvo una imagen a la cual llamamos evidencia #1, la cual fue explorada en frecuencia para obtener las 12 direcciones principales de los puntos de inflexión, la superposición de máximos de ellas da como resultado el cuadro general de agrietamiento para la metodología explicada. Esta imagen fue debidamente promediada y reescalada con el objetivo de realizar su exploración, esqueletización y vectorización de las estructuras por niveles en correspondencia con la imagen en cuestión. Este proceso se repitió dos veces más, utilizando otros parámetros. En la siguiente tabla se muestran los parámetros utilizados en la preparación de estas imágenes.

Estructuras (Niveles)	Píxel (Metros)	Radio (Metros)
E1	80	400
E2	60	200
E3	40	80

Modelo Digital del Relieve: A partir de él obtuvimos la Pendiente Máxima que resulta de un barrido total del M.D.E con una matriz de 3 x 3, ubicando en el centro el cálculo de la pendiente máxima de los ocho vecinos. Esta imagen fue explorada direccionalmente en frecuencia y se obtuvo un cuadro general de agrietamiento graduado de negro a blanco (vinculando el tono con la importancia de la fracturación). Utilizando al igual que el caso anterior la metodología descrita.

Además se tuvo en cuenta las evidencias de estructuras según el análisis de la red de drenaje, las sombras del Modelo Digital de Elevación y los mapas de Disección. Con todos estos criterios construimos el Esquema Tectónico del área (Figura 14), basados en el principio de superposición de las estructuras y su coincidencia espacial por dichos métodos, por supuesto, siempre teniendo en cuenta las características particulares de cada uno de ellos, como por ejemplo, la profundidad de estudio que

abarcan, así como el nivel de prioridad escogido.

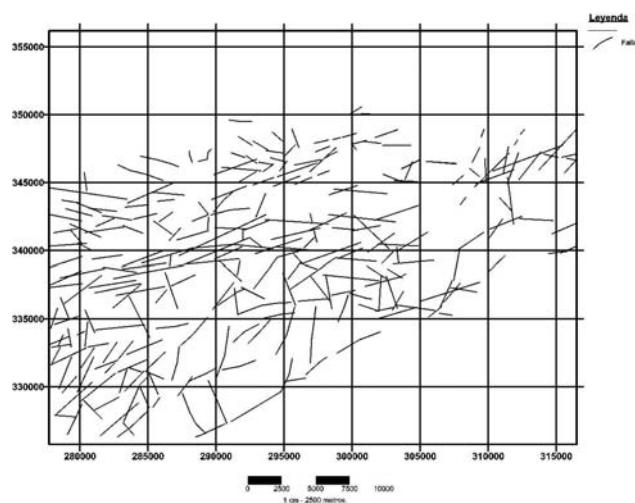


Figura 14. Esquema tectónico de la región.

Como reflejo de aspectos ya analizados en el mapa geomorfológico, nos podemos referir a varios momentos tectónicos en el territorio.

Entre las estructuras de primer nivel que pueden estar relacionadas con diferentes momentos del desarrollo geológico, nos encontramos un grupo de fallas ubicadas principalmente en la parte

central del área de estudio, que son las que prácticamente dividen la región en dos grandes zonas, una al norte de cotas bajas y relieve bastante tranquilo y otra del centro hacia el sur, de cotas altas y relieve complejo, predominando en ellas la dirección sudoeste-noreste, además encontramos varias fallas de este tipo hacia el sudoeste de la región. Todas ellas podrían estar relacionadas con los movimientos más antiguos. Las estructuras de segundo nivel, sin embargo, están mejor distribuidas en toda el área y tienen menor longitud que las primeras.

Coincidiendo perfectamente con la teoría, en cuanto al reflejo de los fenómenos tectónicos en rocas de mayor plasticidad (es mucho menor que para rocas carbonatadas o terrígeno-carbonatadas, las cuales son más frágiles). Tenemos que hacia el este, en el entorno de la formación Capdevila, las estructuras sufren una gran atenuación debido a esta causa.

Aunque muy difícil de valorar, se manifiesta en nuestro estudio una validación de las principales direcciones cubanas de los esfuerzos, planteadas por otros autores en sus investigaciones; secundadas por otras de predominio sudoeste-noreste, las cuales han creado todo un complejo campo de estructuras de menor nivel, a la cual no se escapa en su conjunto macrozona alguna. La importancia de nuestro mapa radica en poder brindar con un mayor nivel numérico estas estructuras de diferentes órdenes, para los posteriores análisis tanto de ubicación de objetos como de influencia de estas en los ya ubicados, lograr estudiar la interrelación entre estos y sus posibles consecuencias en el medio físico.

Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones.

Conclusiones.

- El área se encuentra dividida en dos grandes estructuras regionales, Bloque Norte y Bloque Sur.
- De forma general existe una evidencia de movimientos neotectónicos en el área.
- Existe un drenaje central, definido por el parte agua de dirección sudoeste-noreste, ubicado hacia el centro del área, organizando la esorrentía hacia el norte y el sur de la región.
- Existe una estrecha relación entre litología y drenaje, observándose redes dendríticas y radiales en formaciones terrígenas como Capdevila y terrígeno – carbonatadas como Universidad y Guanajay. Mientras que en formaciones cársticas como Cojímar y Jaruco vemos un menor desarrollo de la red con tendencia a la infiltración.
- Desde el punto de vista estratigráfico, en el área se presentan varias formaciones cuyas edades oscilan entre el Jurásico y el Cuaternario con una variabilidad litológica caracterizadas por complejos terrígenos, terrígenos carbonatados y carbonatados, cuyos contactos en superficie se desarrollan en la dirección de los esfuerzos principales suroeste – noreste.
- El procesamiento del Modelo Digital de Elevación permitió definir un conjunto de alineaciones y estructuras disyuntivas, corroborándose estructuras dadas por otras investigaciones y permitiéndonos delimitar otras nuevas, siendo las direcciones fundamentales suroeste-noreste y sureste-noroeste.
- La utilización del Modelo Digital del Relieve para la investigación realizada, permite un consumo mínimo de tiempo y recursos, así como la posibilidad de poder contar con la información digital para futuros trabajos.

Recomendaciones.

- Realizar estudios más detallados aprovechando los materiales primarios de esta investigación, para la elaboración del mapa geológico e ingeniero-geológico de la región a escala 1:10 000.
- Continuar validando un grupo de resultados que por razones de tiempo y recursos no ha sido posible para esta etapa.

Bibliografía.

- Astraín, P., y C. Guilarte (1995): “Sistema Complejo de Investigación Ingeniero – Geológica regional básica” [inédito] Unión de Construcciones Militares, Empresa Militar de Proyectos e investigaciones, 83 pp.
- Guilarte, C. M., P. J. Astraín, I. Díaz (1994): “Sistema complejo de digitalización del relieve, análisis morfométrico, teledetección de fracturas y detección de fracturas disyuntivas” [inédito] Unión de Construcciones Militares, Empresa Militar de Proyectos e investigaciones, 93 pp.
- Guilarte, C. M., P. J. Astraín, I. Díaz (1995): “Tecnología para la creación del modelo digital del relieve y cálculo de los modelos digitales morfométricos” [inédito] Unión de Construcciones Militares, Empresa Militar de Proyectos e investigaciones, 31 pp.