

ESTUDIO GEÓLOGO-GEOMORFOLÓGICO REGIONAL BÁSICO DE UN SECTOR DE LA PROVINCIA DE PINAR DEL RÍO (SIERRA DEL ROSARIO)

Autores: Norberto Díaz Rivero¹

Carlos E. Valdés Moreira²

Kelma Zubiaur Chapman³

Institutos: ⁽¹⁾ Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía, CubaEnergía.

⁽²⁾ Grupo de Estudios Regionales de Occidente.

E-mail: norberto@cien.energia.inf.cu

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

En tiempos pasados era extremadamente trabajoso y engorroso confeccionar mapas geológicos y geomorfológicos ya que se realizaban manualmente, con la introducción además de errores. En la última década del pasado siglo la computación tuvo un desarrollo vertiginoso y con ello 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.

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 polisobasitas.

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.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis Morfológico y Morfométrico.

Del procesamiento del MDE resultaron los siguientes mapas:

Mapas morfológicos:

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, 1995a).

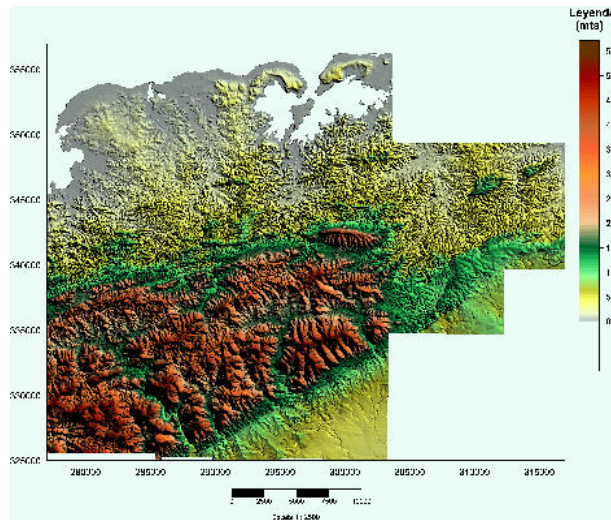


Figura 1. Mapa hipsométrico del relieve, sombreado.

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).

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 (Astrain et al, 1995b)..

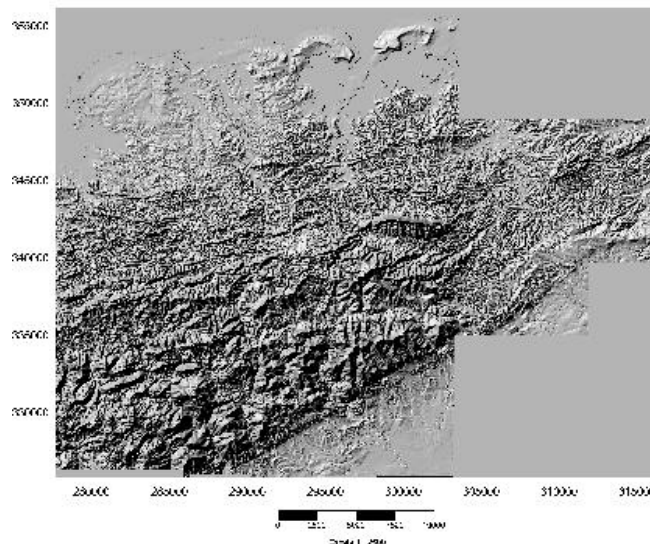


Figura 2. Modelo Digital de Elevación sombreado a 45° por el oeste.

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.

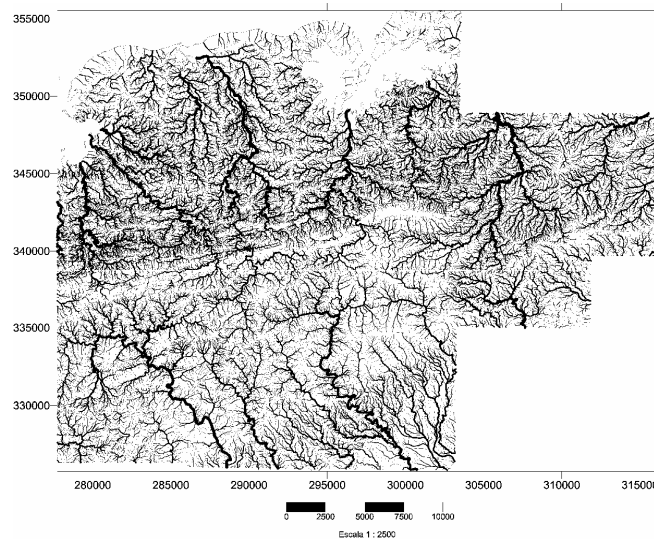


Figura 3. Mapa de la Red de Drenaje Superficial.

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.

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.

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.

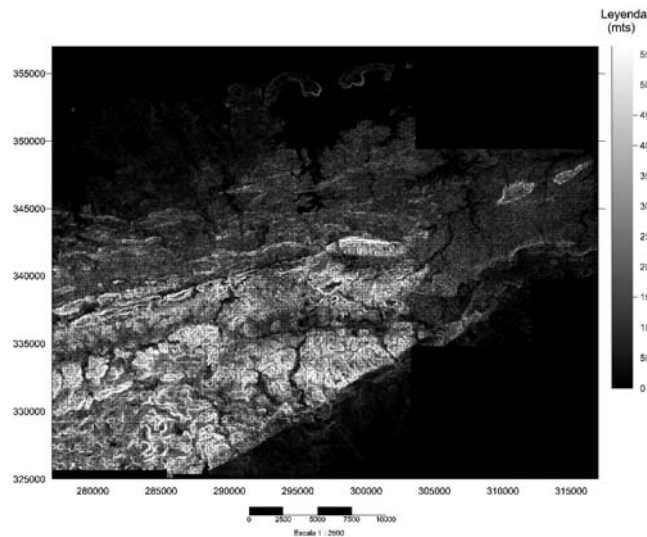


Figura 4. Mapa de Disección Vertical del relieve.

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; cantidad y longitud media de los ríos por órdenes a partir de los datos obtenidos por la digitalización de los mapas. Parámetros útiles para el análisis estructural, geodinámico y litológico; apreciándose diferencias sustanciales para distintas zonas de drenaje, permeabilidad, etc.

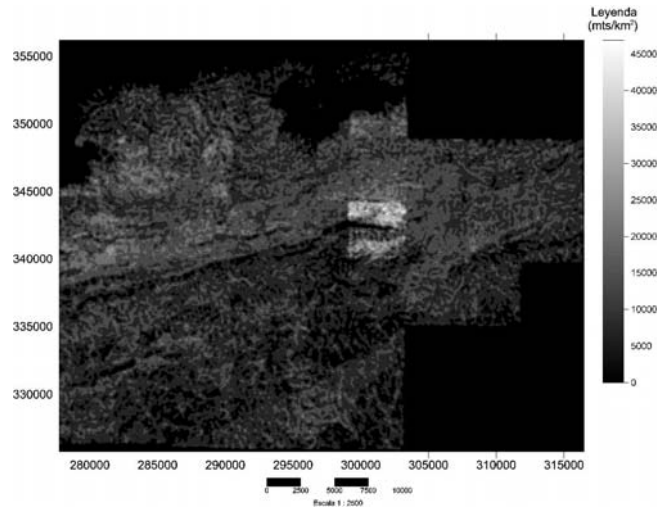


Figura 5. Mapa de Disección Horizontal del relieve

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.

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.

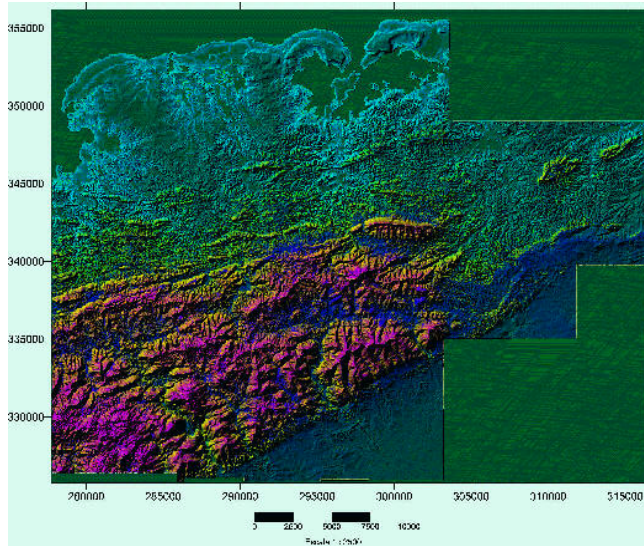


Figura 6. Mapa falso color de componentes principales

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

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.

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

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.

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.

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 7), 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.

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 tectónicos, 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 Capdevilla, 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.

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.

BIBLIOGRAFÍA

1. Astraín, P., y C. Guilarte (1995a): “Análisis Estructural por métodos complejos de Teledetección y Geomorfológicos” [Inédito]. Unión de Construcciones Militares. FAR. X Forum de Ciencia y Técnica.
2. Astraín, P., y C. Guilarte (1995b): “Curso de Cartografía Geológica Automatizada” [Inédito]. Maestría de Geofísica Aplicada. Departamento de Geofísica. Facultad de Ingeniería Civil. ISPJAE.