

APLICACIÓN DE LA GEOMORFOLOGÍA EN LA EXPLORACIÓN PETROLERA MEDIANTE EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y GIS.

JULIO ERNESTO GÓMEZ HERRERA ¹
RAMÓN CRUZ TOLEDO ²

¹CEINPET – Centro de investigaciones del Petróleo
Washington 169, Caixa Postal 12000 – Ciudad de La Habana- Cuba
juliog@ceinpet.inf.cu
²{cruzt}@ceinpet.inf.cu

Abstract. This research focuses on the integration of SPOT image with geomorphological approach and geology – geophysics data, to delineate in the Geographic Information System (GIS) context morphometric schemes for identifies possible oil and gas structure.

The area is related to the Northern Cuban Heavy Oil Belt within the framework of the surrounding areas between the Gulf of Mexico – Yucatan – Bahamas and the Western Caribbean Sea. The study area is located in the northern Matanzas provinces, and is characterized by an alpine tectonic style with intense overthrusting (involving sections from the Upper Jurassic to Middle Eocene). Overthrusting events had a decisive influence on hydrocarbon maturation, generation and migration and also the formation of reservoir, traps and seals.

The structural analysis performed on the remote sensed data identified two main sets of lineaments NE-SW and NW – SE. Enhanced geophysical data and geomorphologic criteria confirmed each lineament network.

Numerical probabilistic methods coupled with Monte Carlo simulations is applied as pattern recognition for identifies oil and gas perspective zone.

Keywords: remote sensing, image processing, oil and gas exploration, geology.

1. Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo, relacionar los elementos geólogo - tectónicos evidenciados por los estudios geológicos de superficie, conocidos a través de la literatura técnica con los obtenidos mediante el desarrollo de métodos geomorfológicos, determinando así las áreas más o menos perspectivas o favorables para la exploración de hidrocarburos.

Aquí se buscan criterios acerca del desarrollo post - orogénico de Cuba, para determinar el carácter de los movimientos neotectónicos, su edad y dirección, la estructuración y origen de los mismos. Para llevar a término el trabajo, fueron realizados diferentes esquemas geomorfológicos como: disección vertical, pendientes, red de drenaje, etc. También para la interpretación nos apoyamos en la información geólogo – geofísico general y de una herramienta muy poderosa, que son los Sistemas de Información Geográficos.

Esta es una de las aplicaciones del proyecto I & D INFOPET.GIS (1995) que se realiza en el Centro de Investigaciones del Petróleo perteneciente a la entidad estatal de CUPET. Este es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para cumplir funciones básicas de almacenar, analizar (INFOPET.DBMS) y cartografiar la información georeferenciada (INFOPET.GIS) de exploración, explotación, producción, económica y de medio ambiente de la industria petrolera cubana.

2. Area de Estudio

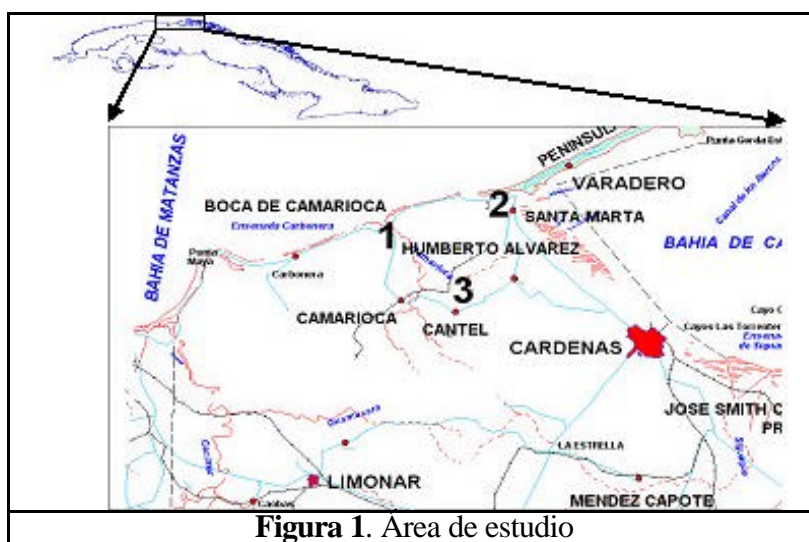
El archipiélago cubano está situado en la región del Caribe abarca 110 860,63. La isla de Cuba constituye la mayor de las Antillas y la está rodeada por 1595 cayos e islas entre las

cuales las mayores son Cayo Romano y la Isla de la Juventud. Por el Norte limita con el Canal Viejo de las Bahamas, la Península de la Florida y el banco de Cayo Sal. Hacia el Oeste se desarrolla el territorio platafórmico de la península de Yucatán. Al Este el cinturón plegado del Caribe que incluye las Antillas Mayores y Menores y al sur se desarrolla la Hoya de Yucatán y la Hoya de Caimán, entre las cuales emergen las islas británicas de Caimán.

Nuestra área de estudio se encuentra localizada en la costa norte de la isla de Cuba, entre las coordenadas referidas al meridiano de Greenwich 81 grados, 15 minutos y los 81 grados, 24 minutos de Longitud Oeste, y los 23 grados, 1 minutos y los 23 grados, 7 minutos de Latitud (Figura 1), abarcando un área de 165 Km² aproximadamente.

En esta área se encuentran los principales yacimientos de petróleo de Cuba (Varadero, Cantel) y otros secundarios como Camarioca, Guásimas etc. y todos están situados en la parte más septentrional y oriental de la provincia de Matanzas.

El yacimiento Varadero fue descubierto en 1971 y en estos momentos es de mayores reservas de Cuba. Se encuentra situado en el área designada como 2. **Figura 1.**



Produce a profundidades entre 1000 y 2000 metros a partir de las Unidades Tectono - Estratigráficas (UTE) Placetas y Camajuaní. Los hidrocarburos conocidos de estas UTE son variables, desde petróleos extrapesados altamente sulfurosos y resinosos, hasta petróleos muy ligeros con bajos contenidos de azufre.

El yacimiento Cantel fue descubierto en 1978. Se encuentra situado en el área designada como 3 (Figura 1). Produce a profundidades entre 400 y 1500 metros a partir de formaciones pertenecientes al Terreno Zaza vinculado a formaciones del arco de islas y ofiolitas. El petróleo entrampado en ellas, proviene de las rocas sedimentarias de la UTE Placetas y Camajuaní principalmente. Los petróleos encontrados en los yacimientos del terreno Zaza son muy variables desde pesados muy sulfurosos hasta ligeros. La frecuencia de acumulaciones de petróleo ligero se incrementa hacia el sur.

Según el paisaje, esta zona se puede dividir en tres sectores, Occidental (1), Oriental (2) y Centro Sur (3) **Figura 1.**

3. Geología

De acuerdo con la evolución geológica, los rasgos de la constitución geológica actual y las características de los yacimientos descubiertos, estos pertenecen a la Franja Norte Cubana de Crudos Pesados en la Provincia Petrolífera Norte Cubana. Describiremos brevemente las unidades geológicas que aparecen en superficie **Figura 2**.

Formación Veloz (VLZ) $J_3 - K_1$: Esta secuencia contiene sedimentos calizas de ambiente marino estratificados, biomicritas con intercalaciones de argilitas y silicitas.

Terreno Zaza (TZZ) K a-al: Está definido como un conjunto de rocas del arco insular volcánico del Cretácico y la corteza oceánica asociada a ofiolitas. La roca más abundante que se presenta son las serpentinitas, con componentes de los complejos de ultramafitas serpentinizadas y en melange que forman asociaciones dunito - harzburgítica, gabros, gabros - diabasas y troctolitas bandeadas y anfibolizadas, diabasas y basaltos.

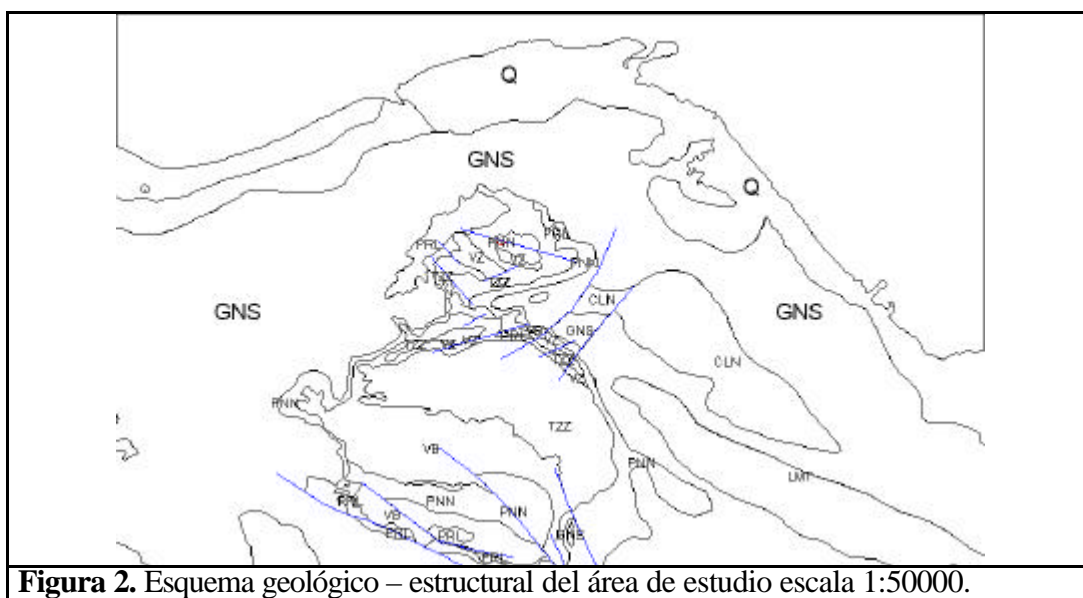


Figura 2. Esquema geológico – estructural del área de estudio escala 1:50000.

Formación Vía Blanca (VB) K_2 cp - m: Secuencias de aleurolitas y argilitas. Margas y conglomerados con horizontes de olistostromas.

Formación Perla (PRL) P_2^{1-2} : Secuencias de margas y calcarenitas.

Formación Peñón (PNN) P_2^2 : Secuencias de brechas y conglomerados.

Formación Colón (CLN) $P_3^2 - N_1^1$: Calcarenitas calizas biodetríticas y margas.

Formación Güines (GNS) N_1^{1-2} : Calizas biogénicas, detríticas y dolomitizadas.

Formación Canimar (CNM) y Loma Triana (LMT) N_2 : Calcarenitas y biocalcarenitas con calizas y margas.

Depósitos del Cuaternario (Q): Depósitos marinos, aluviales, palustres y eólicos. Calizas organodetríticas y organógenas.

A continuación una breve descripción de las formaciones no aflorantes en el área Tenreyro (1997). Estas se encuentran ubicadas como secuencias estratigráficas de deriva (drifting y sedimentos sinorogénicos asociados). Caracterizadas por sedimentos carbonatados, terrígenos y carbonatado - silíceos, con abundancia de silicitas (Cretácico Inferior). Existe evidente superposición de mantos cabalgados de sur a norte y repeticiones de secuencias. Encontramos presencia de elementos piroclásticos, provenientes de fuentes cercanas al

Terreno Zaza. Se van a destacar las formaciones Amaro, Morena, Jobosí, Ronda, Cifuentes y Constancia.

4. Procesamiento de imágenes

Sobre la base del organigrama que mostramos **Figura 3**. Se visualizó el área de trabajo mediante imágenes SPOT de modo pancromático realizadas en Abril de 1994 correspondiendo con una ortoimagen de 3632 x 2838 pixeles en línea y columna, **Figura 4** seleccionándose un área de 512 x 512 que corresponde a nuestra área de estudio.

Se aplicaron técnicas de stretching, filtrado digital direccional y detección de bordes combinados con el empleo falso color, filtros con mejoramiento radiométrico, algunas técnicas de clasificación y transformación de imágenes con operadores matemáticos.

Se obtuvieron alrededor de 12 variantes de imágenes y le presentamos una de las más informativas **Figura 5**. Estos sirvieron para el realce de la imagen y que sirviera para la interpretación con fines tectónicos – estructurales, específicamente para la detección de tectoalineamientos, estructuras, bloques y otros elementos estructurales.

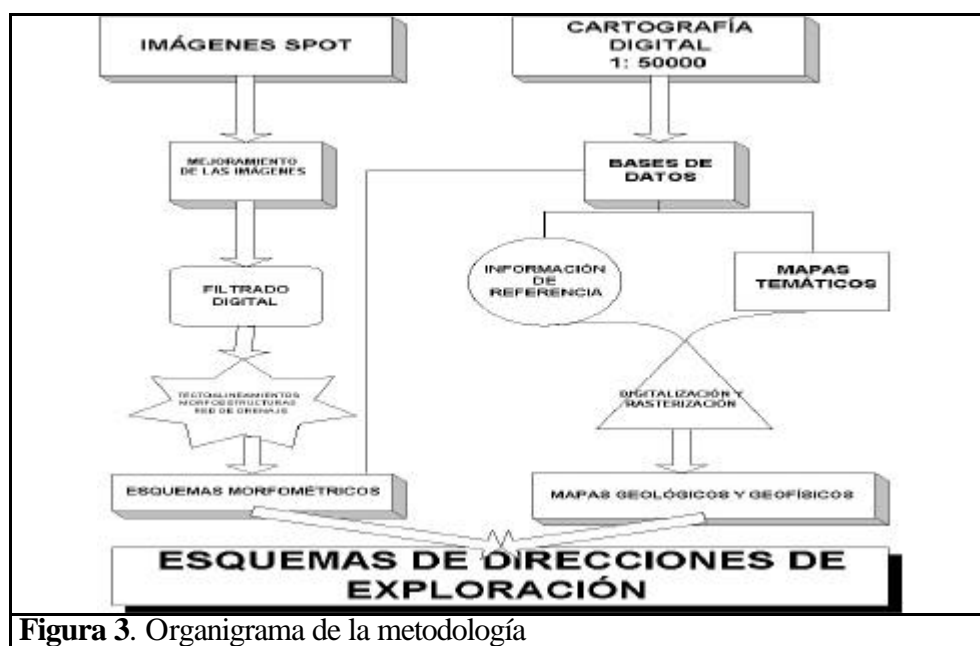
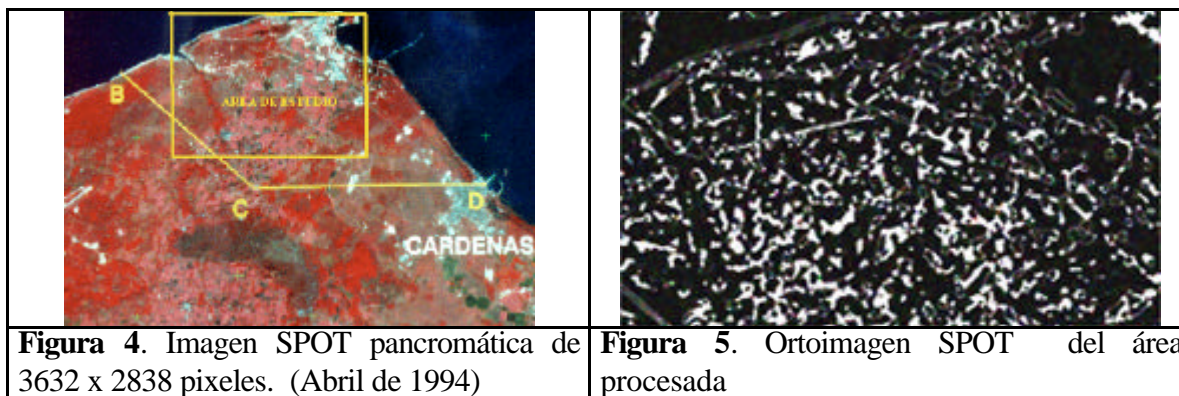


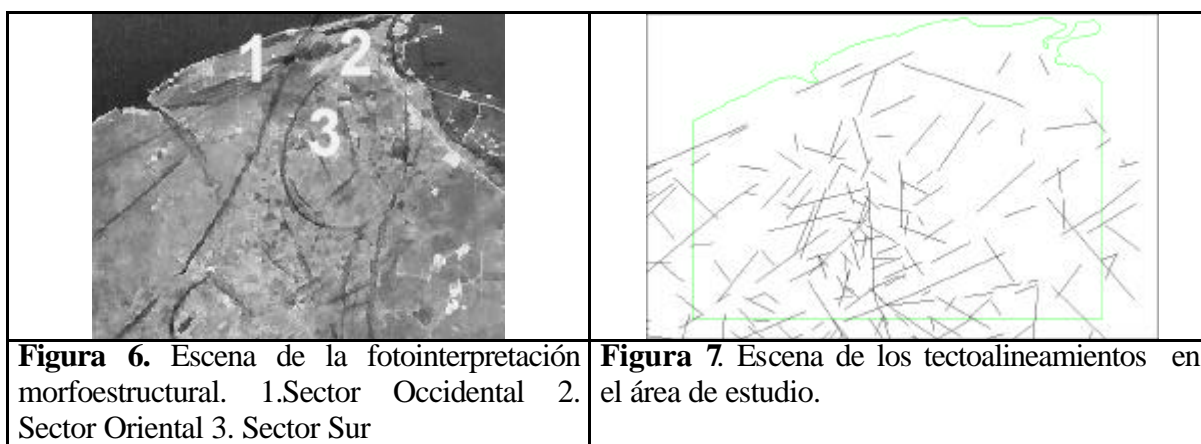
Figura 3. Organigrama de la metodología

Por ejemplo para la determinación de los tectoalineamientos (falla, límites tectónicos y fracturamientos) se emplearon filtros direccionales en frecuencia de los componentes principales. Las morfoestructuras se pudieron definir en parte aplicando combinaciones de filtros, composiciones en falso color con clasificaciones. Se revelan débiles manifestaciones de la neotectónica **Figura 5** A lo largo de la Falla Hicacos a escala regional se produce, al parecer, un desplazamiento horizontal de varios kilómetros del Sector 2 con respecto al Sector 1 lo que se evidencia por características geólogo - geomorfológicas de superficie. **Figura 6.**

Aquí, la actividad tectónica se diferencia claramente presente en las llanuras adyacentes al Este y al Oeste de la misma.



Los alineamientos **Figura 7** del Sector 2 son poco densos. Esta textura se establece hasta las cercanías del yacimiento Varadero. La zona representa en términos generales un área levantada (posiblemente un bloque de compresión o pressure ridge) de dirección Norte - Sur, que al parecer, rompe el sistema extensivo - transcurrente preexistente. Este régimen se conserva a ambos lados del área y la dirección del esfuerzo es NO (sector occidental) y NNE (sector oriental).



En el sector occidental se observan alineaciones que corresponden a zonas deprimidas y terrazas costeras las cuales continúan en la misma dirección hacia la península de Hicacos. Tanto las alineaciones como los cambios en los fototonos atestiguan sobre la emergencia del área a lo largo del flanco del bloque compresivo (Sector 2) así como su relación con los sistemas (al parecer más antiguos) de fallas de cizallamiento que dan origen al escalón de Hicacos.

Se observan inflexiones y recapturas muy ligeras de líneas de drenaje lo que es la manifestación de pequeños desplazamientos laterales provocados por la tectónica extensiva o de transurrencia. En el sector oriental no se observa tan claramente la manifestación de eventos transcurrente y al parecer se trata de una zona estable de subsidencia en bloque. La extensión no está dominada por ninguna ruptura importante. Los fenómenos presentes no tienen una orientación tan marcada como en la zona anterior por lo que pudieran tener relación con la compactación diferencial siempre en el flanco de la estructura del Sector 2.

El sector sur o 3 se diferencia claramente de los anteriores por un aumento en los tectoalineamientos donde se evidencia una gran orogenia resultante apreciándose en afloramientos de estructuras Cretácicas y Jurásicas mas al sur.

5. Esquemas morfométricos

A partir del Modelo Digital del Terreno (MDT) **Figura 8** confeccionado mediante la digitalización de la cartografía en 1:50000 se desarrollaron otros esquemas geomorfológicos como los de pendiente, disección vertical, dirección de la disección, cotas máximas y mínimas, etc. . En este trabajo mostraremos solamente los esquemas más significativos. El MDT presenta valores que van desde 0 a 255 m. representando una altura media de 50 metros.

Desde el punto de vista del relieve, las líneas hipsométricas tienen un escalonamiento débil en aumento de Norte a Sur y de Este a Oeste concordante con la orientación del bloque compresivo identificado como Sector 2. En el esquema de disección vertical **Figura 9**, se observan pequeños contrastes de zonas levantadas y alineamientos que de cierta forma se establecen en los sistemas de estructuras semicirculares.

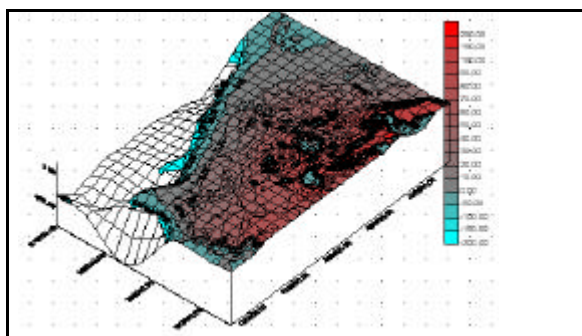


Figura 8. Vistas Perspectivas 3D del Modelo Digital de Terreno de área de estudio.

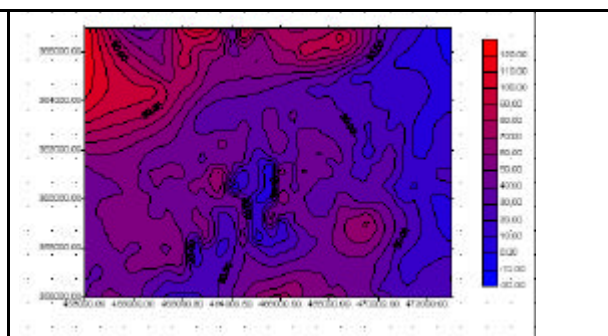


Figura 9. Esquema de la disección vertical

El sistema de tectoalineamientos expresa sistemas lógicos de fracturación para un área fuertemente afectada por sistemas de fallas regionales de dirección NE – SO y NO – SE **Figura 10**. Nos muestra la misma diferencia areal, pero esta mucho más definida la dirección predominante SO - NE en el rango de 230^o - 240^o grados.

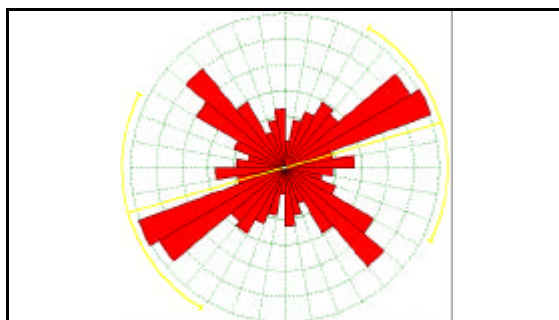


Figura 10. Diagrama de rosa de los tectoalineamientos.

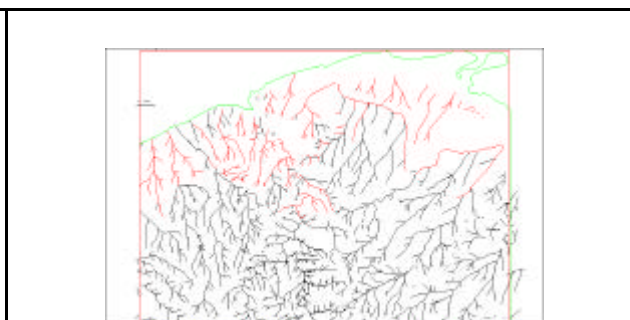


Figura 11. Esquema del sistema de red de drenaje

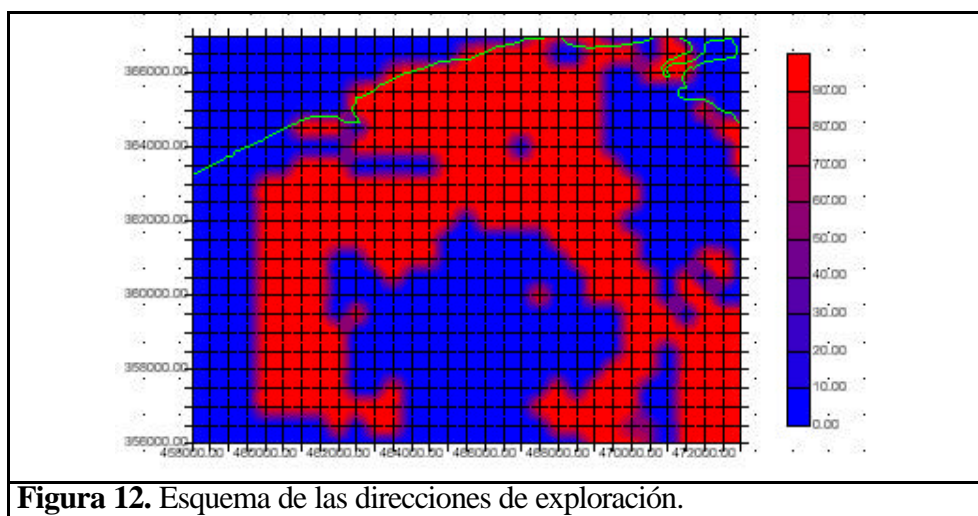
Existe otra dirección secundaria SE - NO en el rango de 120 a 140 grados de acimut. Estas direcciones al parecer conforman un sistema regional conjugado. El sistema de la red de drenaje elaborado para el área **Figura 11**, según la interpretación cartográfica y nos muestra un desarrollo asimétrico de las cuencas e indica las direcciones principales de la fracturación NE y NO. Este sistema de drenaje es del tipo paralelo en términos generales lo que se corresponde a la litología existente. Sin embargo, en la parte occidental de la zona se observa un cierto giro hacia el NNE. Este drenaje en términos generales es perpendicular a la dirección del yacimiento. Cruz (1991).

6. Reconocimiento de patrones.

Mediante criterios de expertos agrupamos nuestros patrones en grupos afines en función de su perspectividad, información dada por los resultados de los pozos perforados, su productividad y horizonte productor y aplicando como algoritmo del test obtuvimos informatividad en los atributos **Tabla 1**. Según los resultados obtenidos anteriormente caracterizamos las áreas **Figura 12**.

	Atributos	Informatividad %
1	Distancia al frente de cabalgamiento tangencial	100
2	Distancia al frente de cabalgamiento principal	21.4
3	Densidad de tectoalineamiento	64.3
4	Disección vertical	42.8
5	Densidad de la red de drenaje	28.5
6	Levantamiento geológico de superficie	100
7	Residual de anomalías gravimétricas (prof. 1500m.)	85.7
8	Intensidad del campo aeromagnético (Reduc. Polo)	64.3
9	Gradiente vertical del campo aeromagnético	35.7
10	Geoquímica de superficie	14.2

Tabla 1. Esquema de los atributos utilizados en la Modelación



6. Conclusiones

Existe un desarrollo de la neotectónica en el área débil. Las ondulaciones del terreno al parecer se deben a la acción de una tectónica muy reciente (Cuaternaria) manifestación ligada con la elevación del bloque comprimido del sector 2, la cual es la responsable de la reorientación del sistema de drenaje, la existencia de zonas deprimidas alineadas, los valores de la disección vertical y la correspondencia del sistema de drenaje de ordenes inferiores en la dirección NE. Se atestigua que las direcciones SO - NE en el rango de 230^0 - 240^0 y la secundaria en la dirección SE - NO en el rango de 120^0 - 140^0 coinciden con las direcciones de la orogenia cubana y al parecer con la tectónica de ajustes después de la conclusión de los cabalgamientos.

Con las técnicas de reconocimiento de patrones Gómez (1994) no logramos cartografiar las estructuras sinorogénicas con alto grado de acierto. Se dificulta igualmente el seguimiento de las fracturas post orogénicas que tienen incidencia en la distribución de fluidos en el yacimiento en profundidad.

7. Referencias

Barea M., Introducción, análisis y evaluación de la geomorfología para la prospección de yacimientos de hidrocarburos. Archivo Técnico CEINPET, Habana, 1990.

Cruz R. et. al, Identificación de los yacimientos gasopetrolíferos Cantel – Camarioca por los métodos geomorfológicos., Archivo Técnico CUPET, Habana, 1991.

Gómez J., et. al., Pronóstico gasopetrolífero en la asociación ofiolítica cubana aplicando modelación matemática, Geofísica Internacional Vol. 33, México, 1994.

Tenreiro R., et. al, Neotectónica y tectónica post - orogénica del archipiélago cubano. Aspectos relacionados con el potencial y la exploración de hidrocarburos, Archivo Técnico CEINPET, Habana, 1997.