

## EXPLORACIÓN PETROLERA: PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES LANDSAT E INFORMACIÓN GEOLÓGICA EN LA REGIÓN HABANA – MATANZAS.

JULIO ERNESTO GÓMEZ HERRERA<sup>1</sup>  
ORLANDO ALVAREZ HERNÁNDEZ<sup>2</sup>  
RAMÓN CRUZ TOLEDO<sup>3</sup>  
ROBERTO OTERO MARRERO  
JOSÉ LUIS GIL RODRIGUEZ

<sup>1</sup>CEINPET – Centro de Investigaciones del Petróleo  
Washington 169, Caixa Postal 12000 – Ciudad de La Habana- Cuba

juliog@ceinpet.inf.cu

<sup>2</sup>oral@ceinpet.inf.cu

<sup>3</sup>cruzt@ceinpet.inf.cu

**Abstract.** Landsat Thematic Mapper images were acquired to support the exploration in northwestern Cuba, were interpreted to investigate the presence of surface indications of structuring which might be significant for oil exploration.

The study area is located to the Northern Cuban Heavy Oil Belt within in the northern Havana - Matanzas provinces. Is characterized by intense overthrusting; (Tectono – Stratigraphic Unit (TSU) Placetás, Camajuaní and Zaza Terrain (Upper Jurassic to Middle Eocene).

Landsat Thematic Mapper images were used to test more shallow prospects in addition to digital morphometric data, geophysical potential fields and geological maps. The image classifications techniques, directional filters and texture analysis were accomplished using a variety of software tools, ER Mapper and TN Studio shows the major lineaments sets NE –NW networks.

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

### 1. Introducción

El área de estudio está relacionado con la Franja Norte Occidental Cubana de crudos Pesados comprendido en la Región Gasopetrolífera Habana - Matanzas caracterizada por el amplio desarrollo de los mantos tectónicos del Terreno Zaza que la cubren prácticamente en su totalidad.

Se evalúan objetivos en ambientes someros (no mayores de 1500 m. de profundidad) relacionadas con la secuencia ofiolítica y/o secuencias ligadas a ella. Estos objetivos (aunque con reservas extraíbles catalogadas como pequeñas), se caracterizan por presentar grandes débitos de hidrocarburo en su etapa inicial, lo que por su poca profundidad y la calidad del hidrocarburo entrampado los hacen significativamente rentables.

EL área de estudio está cubierta por la información de imágenes LANDSAT Thematic Mapper™, la cual ha sido corregida y mejorada. Conjuntamente se utilizó la información digital topográfica (Modelo Digital del Terreno), morfológica, gravimétrica, aeromagnética y geológica disponible.

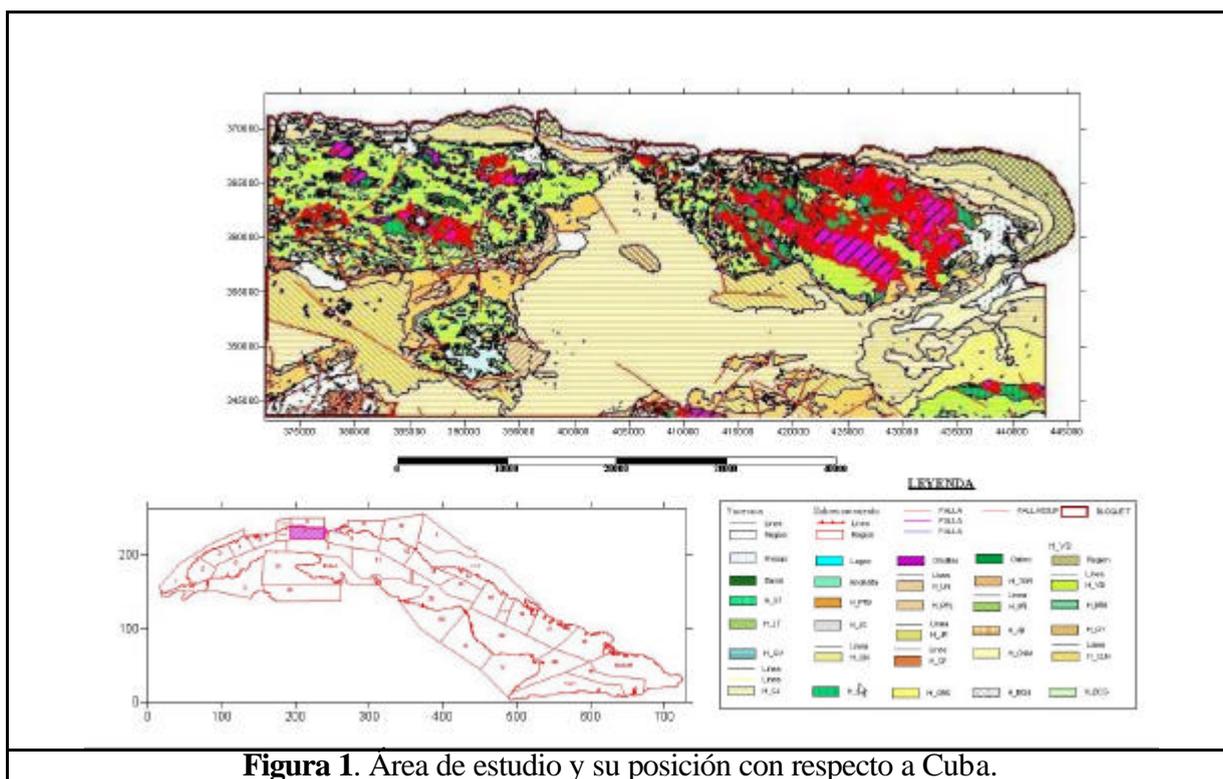
La integración de toda esta información, procesada mediante algoritmos de clasificación, filtros espectrales y direccionales, y otras herramientas de procesamiento digital, contenidas en los sistemas de procesamiento ER Mapper y TN Studio, revelaron diferentes características, zonaciones y alineaciones estructurales asociadas con áreas potencialmente perspectivas.

## 2. Area de Estudio

Nuestra área de estudio está caracterizada por el desarrollo de mantos superpuestos con desarrollo de cuencas sinorogénicas del tipo “piggy back”. Esta complicada estructura geológica es el resultado de la colisión del arco volcánico Cretácico y su corteza oceánica, provenientes del sur, con las rocas del margen continental norteamericano, por lo que en esta superposición, encontramos mantos provenientes de estos dos dominios.

Como puede apreciarse en la **Figura 1**, los mantos están comprendidos en diferentes zonas pertenecientes a dos sectores: noroccidental y nororiental. Ambos sectores ocupan una franja de aproximadamente 1958 Km<sup>2</sup>.

La existencia de trampas de petróleo en la región, está totalmente demostrada por la presencia de los yacimientos petroleros que se enumeran en la **Tabla 1** y nuestro objetivo fundamental es de descubrir nuevas reservas de hidrocarburo en estructuras someras o sea no mayores de 1500 metros de profundidad.



YACIMIENTO	DESCUBRIMIENTO	PROF.(m)	ZONA
Cruz Verde	1914	500	Cruz Verde
Bacuranao	1914	1000	Cruz Verde
Sta. María	1956	1600	Guanabo
Peñas Altas	1956	1000	Guanabo
Guanabo Brisas	1968	1000	Guanabo
Boca de Jaruco	1974	800	B. de Jaruco

**Tabla 1.** Yacimientos de petróleo descubiertos la Región Habana Matanzas

### 3. Geología

Los sectores noroccidental y nororiental se extienden a lo largo de la costa. El Sector Noroccidental está compuesto por las zonas **Figura 2**:

Zona Boca de Jaruco. Su estructura geológica está compuesta por un apilamiento de mantos de la UTE Placetas, parcialmente recubiertos por las partes frontales de los mantos ofiolíticos del Terreno Zaza. En superficie se desarrolla la cubierta postorogénica con potencia de varios cientos de metros, depositada discordantemente sobre estos mantos.

Zona Rincón de Guanabo. Se caracteriza por el aumento en los espesores para los sedimentos sinorogénicos de la Fm. Vía Blanca y por consiguiente una mayor profundidad de yacencia del manto ofiolítico y los mantos subyacente de la UTE Placetas, que buzan hacia el Sur. Es una zona de transición entre las partes frontales y las zonas con fuerte desarrollo de los mantos ofiolíticos.

Zona Guanabo. Presenta una delgada cubierta postorogénica, grandes espesores de los sedimentos sinorogénicos correspondientes a la Fm. Vía Blanca y de los mantos ofiolíticos.

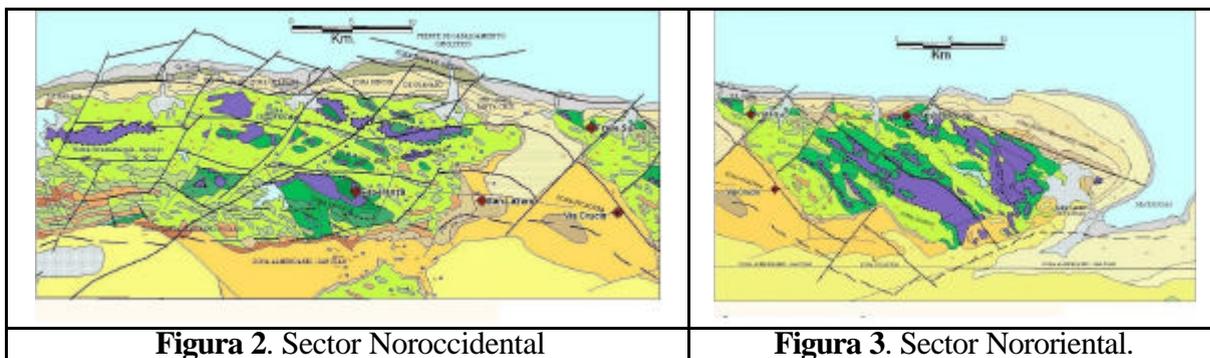
Zona Cruz Verde. Se caracteriza por la presencia de espesores variables o ausencia de los sedimentos sinorogénicos de la Fm. Vía Blanca, que yace sobre las ofiolitas.

Zona Guanabo- Basilio. Se caracteriza por la presencia de grandes espesores para el paquete de mantos del Terreno Zaza, los cuales afloran localmente o se encuentran cubiertos por espesores variables de los sedimentos sinorogénicos de la Fm. Vía Blanca.

Zona La Coca. Está situada al sur de la anterior y de acuerdo a los datos disponibles presenta una estructura geológica semejante con fuerte desarrollo de los mantos ofiolíticos.

Zona Santa María del Rosario. Se caracteriza por poseer afloramientos de rocas carbonatadas de la UTE Placetas cuya estructura geológica aún se desconoce.

Al Sector Nororiental **Figura 3** lo forman las zonas:



Zona Puerto Escondido- Yumurí. Su estructura geológica se caracteriza por el desarrollo de los mantos de la UTE Placetas, parcialmente recubiertos por el extremo frontal de los mantos del Terreno Zaza. En superficie encontramos una cubierta postorogénica potente.

Zona Canasí - San Adrián. Presenta una estructura en extremo compleja con mantos del Terreno Zaza que afloran parcialmente. Las ofiolitas forman cuerpos alargados, recubiertos parcialmente por los sedimentos sinorogénicos de la Fm. Vía Blanca. En algunos lugares se observa el afloramiento de rocas arcósicas pertenecientes a la Fm. Bacunayagua (sinorogénico de Placetas) y afloramientos de silicitas y argilitas que se han relacionado al arco volcánico.

Zona Galindo. Está formada por un potente manto de rocas del Terreno Zaza que aflora en las lomas de Galindo, cubierto hacia el sur por sedimentos sinorogénicos de la Fm. Vía Blanca.

Zona Picadura. Presenta una cubierta postorogénica potente. Los datos gravimétricos indican la posible existencia del complejo ofiolítico en profundidad.

Zona Almendares- San Juan. Es una cuenca Piggy- Back desarrollada sobre los mantos del Terreno Zaza , se extiende en dirección Este- Oeste a lo largo de toda la región y la potencia de su relleno sedimentario puede alcanzar hasta 2000 – 2500 m en su eje central.

Zona Bejucal – Madruga – Cidra. Está constituida por potentes mantos del Terreno Zaza que pueden superar, según los datos del pozo Madruga 2, los 3400 metros de espesor.

#### 4. Procesamiento de imágenes y esquemas morfométricos

Se utiliza el Sistema de Coordenadas Lambert Norte para Cuba de la Proyección Cónica Conforme de Lambert. El área de estudio se enmarca entre las siguientes coordenadas planas.

X : 371770 – 449448 y Y : 343575 - 374832

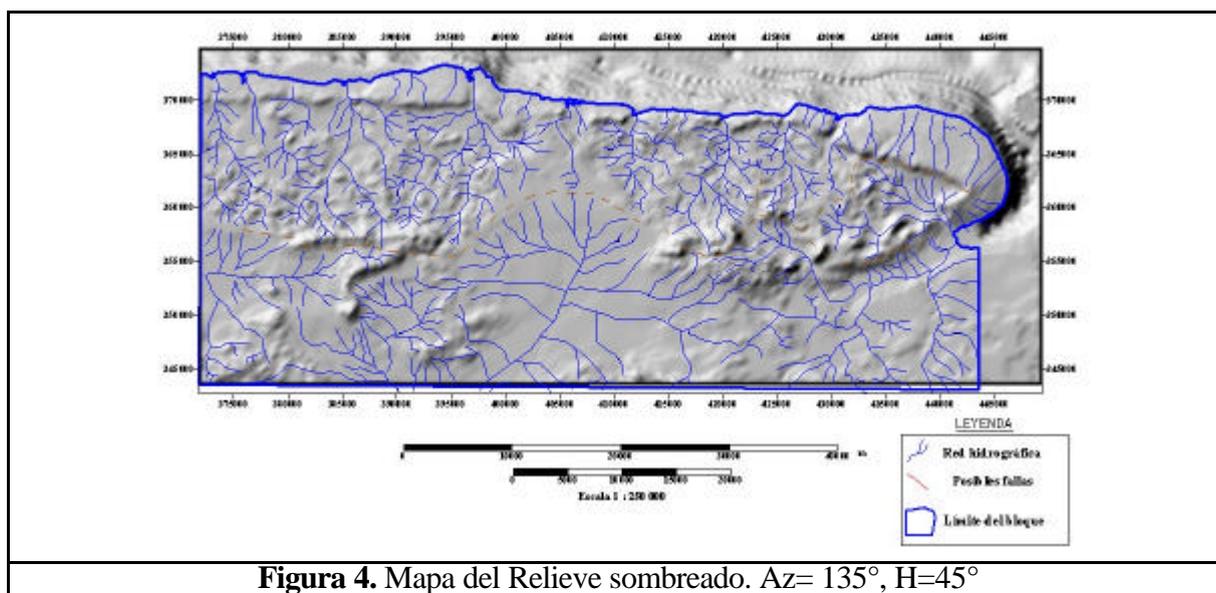
Estas se corresponden con las coordenadas geodésicas siguientes:

Latitud: 22° 33' 47.28'' N y 22° 50' 20.74'' N

Longitud: 82° 14' 49.22'' W y 81° 31' 23.88'' W

El trabajo parte de la creación del Modelo Digital del Relieve y la Red de Drenaje, a partir de los cuales es posible aplicar un complejo de métodos morfométricos y geomorfológicos, donde se obtendrán los elementos necesarios para contribuir al enriquecimiento del estudio geológico. Para estos fines se emplearon varios sistemas automatizados reconocidos en esta esfera tales como el ER Mapper 6.1 y el Sistema TN Studio 3.0.

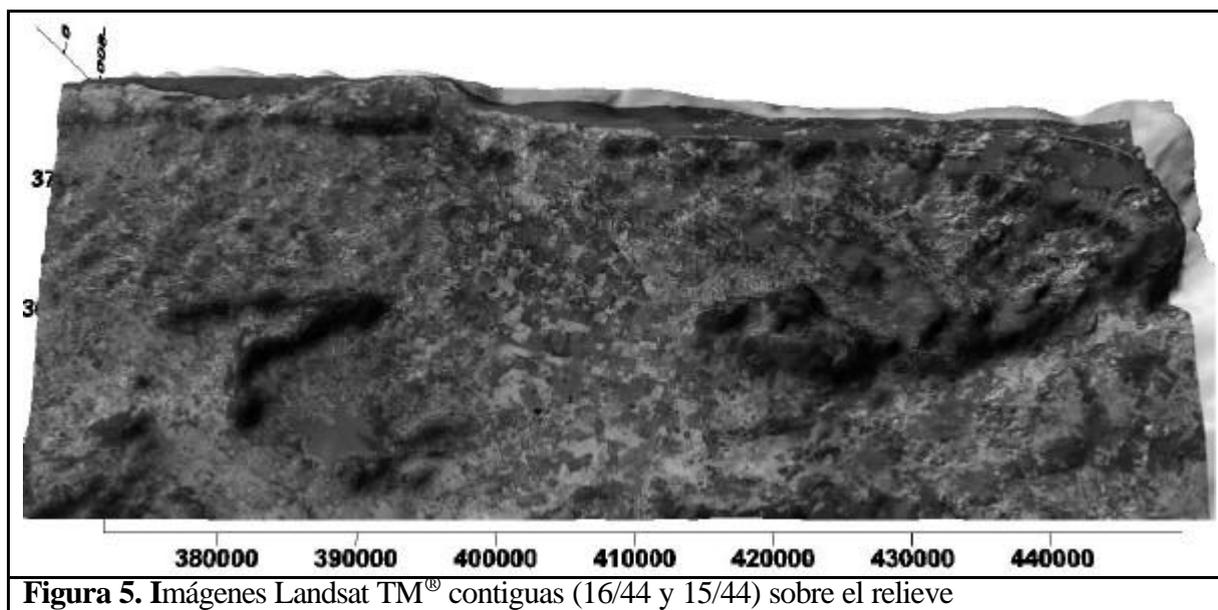
Se obtuvo el Modelo Digital del Terreno Relieve (M.D.T), y la Red de Drenaje Superficial. Teniendo como base el M.D.T se pudieron trabajar varios mapas morfológicos y morfométricos **Figura 4.**



**Figura 4.** Mapa del Relieve sombreado. Az= 135°, H=45°

Por otra parte, la interpretación de imágenes de satélite es muy útil para proporcionar una apreciación regional de los rasgos geológicos y estructurales en el área de estudio, sobre todo durante la primera etapa de los trabajos. La interpretación es importante para reconocer las tendencias estructurales regionales. Núñez (2002).

En la obtención de los lineamientos regionales se utilizaron dos imágenes Landsat TM<sup>®</sup> contiguas (16/44 y 15/44), las cuales fueron transformadas de la proyección WGS 84 al Sistema de Coordenadas Lambert Norte para Cuba de la Proyección Cónica Conforme de Lambert mediante las facilidades brindadas por el Sistema ER Mapper 6.1, realizando el mosaico de las mismas y utilizando una máscara de la zona de estudio con el objetivo de limitar el tamaño de la imagen. **Figura 5**



**Figura 5.** Imágenes Landsat TM<sup>®</sup> contiguas (16/44 y 15/44) sobre el relieve

Durante el pre-procesamiento de las imágenes Landsat TM<sup>®</sup>, se utilizaron técnicas de operaciones con diferentes bandas tales como, composiciones a color y componente principal, las cuales permitieron la delimitación de los lineamientos tectónicos principales del área usados durante el análisis.

La información dada por las bandas adyacentes en las imágenes multiespectrales por lo general se encuentran relacionadas, lo que implica una redundancia en los datos Mather (2001). En las **Tablas 2 y 3** les mostramos la matriz de correlación y de componentes principales de las 5 bandas (1-5) estudiadas de la imagen Landsat TM.

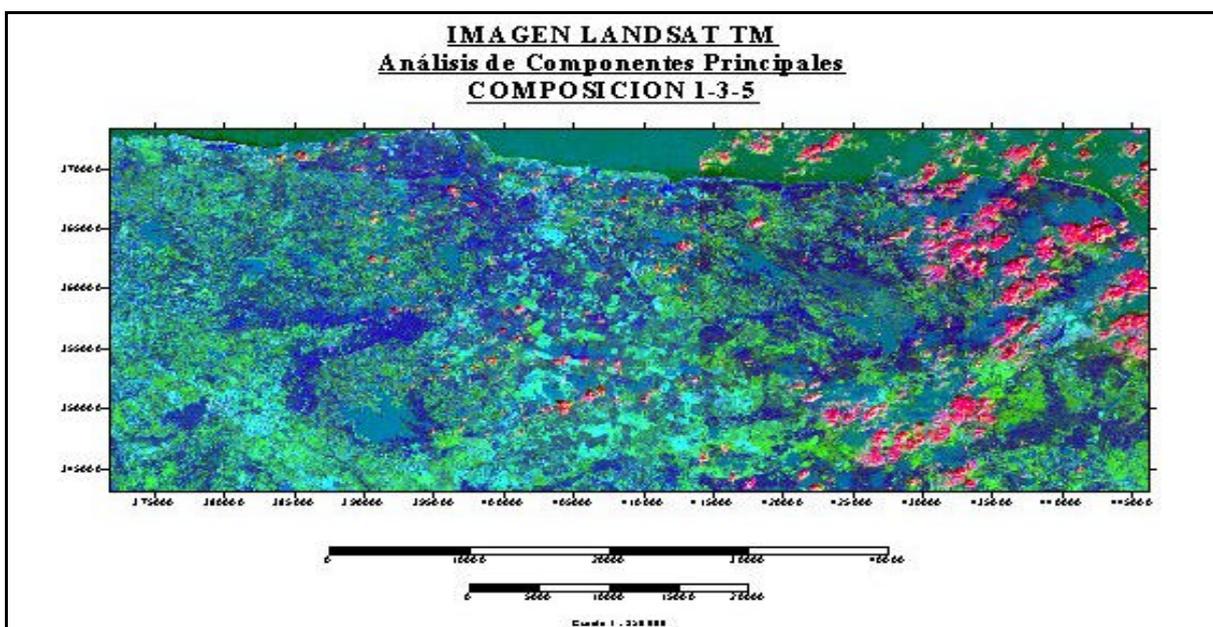
Como se aprecia en la **Tabla 3** la mayor cantidad de información se concentra en los componentes CP1, CP3 y CP5. En la **Figura 6** se muestra la imagen RGB resultante del análisis de componentes principales utilizando la CP1 como Rojo, la CP3 como G y la CP5 como B, donde se pueden observar áreas de color azul oscuro que coinciden con los principales lineamientos tectónicos regionales en la zona de estudio.

BANDA	1	2	3	4	5	Media	D. S
1	1.000	0.873	0.742	-0.485	0.916	54.182	7.320
2	0.873	1.000	0.953	-0.007	0.724	31.455	6.410
3	0.742	0.953	1.000	-0.132	0.703	30.243	7.020
4	-0.485	-0.007	-0.132	1.000	-0.432	94.834	25.472
5	0.916	0.724	0.703	-0.432	1.000	53.722	16.113

**Tablas 2.** Matriz de correlación de la imagen Landsat TM (bandas 1-5)

BANDA	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
1	0.954	-0.232	0.245	0.002	0.941
2	0.735	-0.019	0.322	0.187	-0.142
3	0.918	0.073	0.948	-0.001	0.431
4	-0.243	0.842	-0.285	-0.050	-0.058
5	0.832	0.157	0.949	0.074	0.054
Eigenvalue	3.196	0.821	2.179	0.212	1.226
% varianza	41.862	10.758	28.541	2.777	16.062
Acum. Var	41.862	52.620	81.161	83.938	100.000

**Tablas 3.** Matriz de componentes principales de la imagen Landsat TM (bandas 1-5)



**Figura 6.** Imagen RGB resultante del análisis de componentes principales

## 5. Integración de la Información.

En la **Figura 7** mostramos los resultados de todos los parámetros (sensores remotos, geofísica y análisis geomorfológico), donde se puede interpretar un sistema de fallas transcurrentes de tipo sinistral, con dirección NE intercomunicadas con un ambiente de fallas dextrales (de dirección NW), que posibilitan la identificación de diferentes sectores con características tectónicas y estructurales muy favorables,

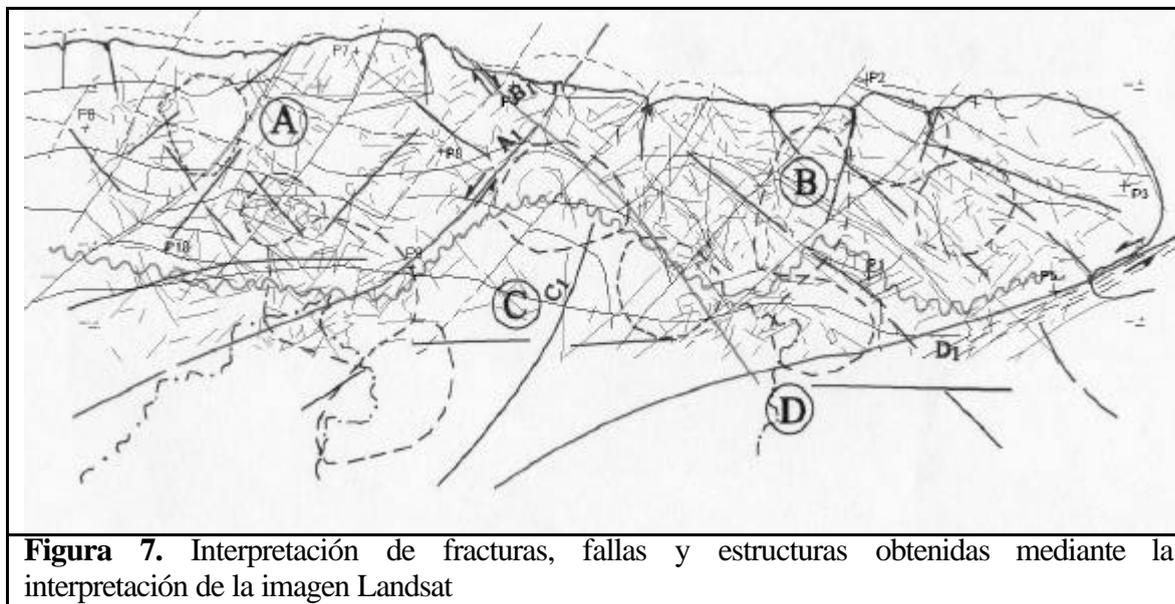
Sector A: Ubicado en el extremo más septentrional y Occidental, donde aparecen tectoalineamientos de dirección NE y NW, estructuras circulares en la dirección NW, y ubicados en zonas de encuentro de fallas. Este sector se encuentra limitado por la falla A1 y B1 (con desplazamiento sinistral y dextral respectivamente), y desde la línea de costa hasta casi el Parte Agua .

Sector B Ubicado en el extremo septentrional y más oriental, limitado desde la costa hasta las fallas B1 y D1 de tipo dextral y sinistral respectivamente. Aparecen los elementos mencionados en el sector anterior, con la diferencia que se presenta muy bien la dirección NW, estableciendo muy bien un sistema estructural combinado con estructuras circulares en la dirección de los esfuerzos.

Sector C: Ubicado entre las fallas A1 y D1 sinistral de dirección NE y B1 con

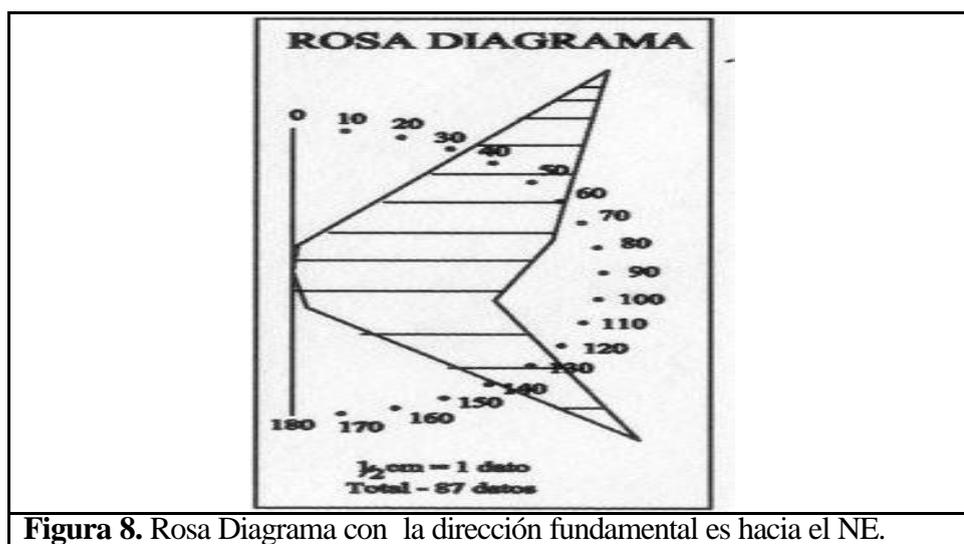
desplazamiento dextral. En el aparece fundamentalmente el sistema de fallas transcurrentes.

Sector D: Ocupa el área más sur – oriental del Bloque y está limitada por el norte con la falla de tipo sinistral D1, apareciendo también el desarrollo estructural expresado por las fallas de rumbo NW, sintéticas a la falla B1.



**Figura 7.** Interpretación de fracturas, fallas y estructuras obtenidas mediante la interpretación de la imagen Landsat

Según la Rosa Diagrama **Figura 8** se observa que la dirección fundamental es hacia el NE, la cual es generadora del relieve y responsable de las fallas transcurrentes del tipo sinistral, posibles vías de migración y coincidentes con la dirección de los esfuerzos compresivos principales. La otra dirección no menos importante se establece hacia el NW, coincidente con el rumbo cubano y expresando el desarrollo estructural, sintéticamente relacionadas con fallas de tipo dextral. Este Bloque prácticamente se ubica dentro del efecto de dos grandes fallas transcurrentes la falla Pinar e Hicacos de dirección NE.

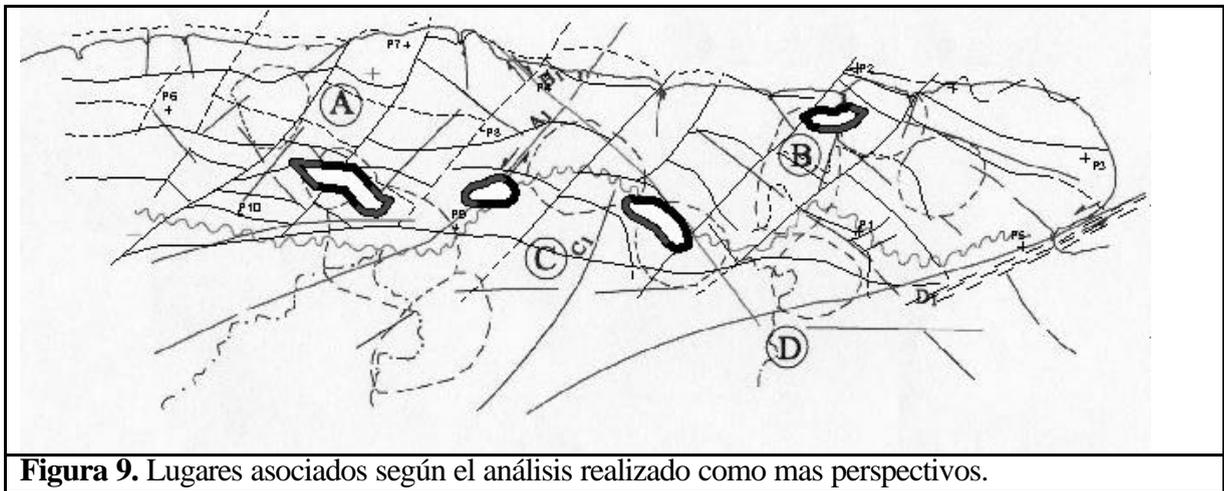


**Figura 8.** Rosa Diagrama con la dirección fundamental es hacia el NE.

## 6. Conclusiones

El análisis realizado demostró la existencia de estructuras elevadas en función de las características de la red de drenaje (estructuras circulares y divisorias de las aguas o parte aguas) partiendo del principio de que la tectogénesis reciente tuvo efectos importantes sobre las trampas por lo que estas tienen un reflejo en la superficie actual del terreno, tectoalineamientos asociados a fallas de cabalgamiento, de dirección perpendicular a la dirección del esfuerzo principal, en la etapa de tectónica compresiva y los de dirección NE, asociados a las fallas rumbo deslizantes responsables de la migración del petróleo.

En el caso de las áreas donde aflora las secuencias del Terreno Zaza, se seleccionaron los lugares, anómalos donde se supone exista una buena fracturación relacionada a las anomalías de densidad de los tectoalineamientos, teniendo como objetivo, la ubicación de los pozos exploratorios en zonas donde sea factible el desarrollo de los colectores fracturados **Figura 9**.



**Figura 9.** Lugares asociados según el análisis realizado como mas perspectivas.

## 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.
- Núñez, K., El uso de los sensores remotos y las técnicas de procesamiento de imágenes para el mapeo geológico del área San Antonio del Sur, Cuba. Memorias. Geomática 2002. La Habana. Cuba.
- 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.