MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO

“ Dr. Antonio Núñez Jiménez”

FACULTAD GEOLOGÍA MINAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TRABAJO DE DIPLOMA

TÍTULO: Modelación 3D de datos gravimétricos del norte de la Cuenca Central.

AUTORA: Aliuska Peña Reyna

TUTORES: Dr. Jesús Antonio Blanco Moreno.

Dr. José Alberto Batista Rodríguez.

*“**A**ño de la **A**lternativa **B**olivariana para las **A**méricas”*

Moa -2005

PENSAMIENTO

L*a vida no se mide por el número de respiros que damos ,*
sino por los momentos que nos quitan el aliento...

DEDICATORIA

A mis padres y mis hermanos

AGRADECIMIENTOS

***N**o hubiese sido posible el desarrollo de esta investigación sin contar con el apoyo de un gran número de personas que brindaron su ayuda desinteresada. En especial a:*

- *Mis padres y hermanos por su cariño y comprensión durante mi vida de estudiante.*
- *Alen Sarmiento por su preocupación, comprensión y ayuda en los momentos difíciles*
- *Dr. José Alberto Batista Rodríguez y Dr. Jesús Blanco Moreno por sus críticas y sugerencias en todo momento.*
- *Leomaris Domínguez por sus consejos y ayuda desinteresada.*
- *Idael Blanco Quintero por su dedicación, concejos y críticas oportunas.*
- *Israel Cruz Orosa y Yaniel Vázquez Taset por su ayuda.*
- *Mis bichitos Aldo, Yasser, Yoni y Arnaldo por su cariño en cada momento.*
- *Nereyda Peña por su cariño y apoyo incondicional.*
- *Todos aquellos que de una forma u otra han contribuido el desempeño de esta investigación.*

Gracias.

RESUMEN:

En el presente trabajo se realiza la modelación 3D de datos gravimétricos con el objetivo de profundizar en la caracterización geológica y estructural del norte de la Cuenca Central y con ello proponer un modelo geólogo-geofísico más detallado.

La región está representada en su mayor parte por rocas sedimentarias, rocas vulcanógenas pertenecientes al Arco de Islas Volcánico de Cretácico, rocas intrusivas, litologías de la asociación ofiolítica y secuencias plegadas y sobrecorridas del antiguo margen de las Bahamas.

Para dar cumplimiento al objetivo trazado primeramente se realizó el mapa de Continuación Analítica Ascendente, mapa de relieve sombreado, paralelamente se combinó la información geofísica, geológica y de pozos, para la inversión 3D de los datos gravimétricos y obtención del modelo geólogo-geofísico.

Con la interpretación de los resultados de la inversión se obtuvieron mapas de variaciones de espesores y profundidades de las litologías mencionadas anteriormente, se determinaron estructuras falladas que no habían sido descritas anteriormente y corroboraron zonas de fallas existentes, así como la delimitación geométrica de la Cuenca Central y los límites SE del Cinturón plegado del norte de la provincia de las Villas.

Los resultados evidencian el marcado control tectónico de la geometría y disposición de las capas litológicas, y de las estructuras mencionadas. Tales elementos permiten orientar con mayor eficiencia los trabajos de prospección en la región investigada.

ABSTRACT:

Presently work is carried out the inversion 3D of data gravimetric with the objective of enriching the geologic and structural characterization of the north of the Central Basin and with it to propose a detailed geologist-geophysical model.
The region is represented in its biggest part by sedimentary rocks, rocks volcanogenic belonging to the Volcanic Arch of Islands of Cretacic, rocks intrusive, lithology of the association ophiolitic and folded sequences of the old margin of the Bahamas.
To give execution firstly to the objective layout was carried out the map of Upward Continuation, map of shady relief, which combined with the geophysical, geologic information and of wells, for the investment 3D of the data gravimetric and obtaining of the geologist-geophysical pattern.
With the interpretation of the results of the investment maps of variations of thickness and depths of the lithology were obtained mentioned previously, faults zone were determined that they had not been described previously and they corroborated areas of existent faults, as well as the geometric delimitation of the Central Basin and the limits of the folded Belt of the north of the county of the Villages.
The results evidence the marked tectonic control of the geometry and disposition of the layers lithology, and of the mentioned structures. Such elements allow guiding with more efficiency the prospecting works in the investigated region.

INDICE **Pág.**

INTRODUCCION.		1
CAPITULO I:	GENERALIDADES DE LA REGIÓN	3
1.1	Características físicos - geográficas	3
1.2	Trabajos geológicos y geofísicos precedentes.	4
1.3	Características geólogo-tectónica regionales	6
	1.3.1 Estratigrafía de la Cuenca Central	8
	1.3.2 Tectónica de la Cuenca Central	16
CAPITULO II.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1	Metodología de la investigación.	19
2.2	Principios teóricos y métodos utilizados.	24
2.3	Características petrofisicas.	27
CAPITULO III.	INTERPRETACION DE DATOS GRAVIMETRICOS Y DEL MODELO 3D DEL NORTE DE LA CUENCA CENTRAL.	31
3.1	Interpretación cualitativa	31
	3.1.1 Interpretación del mapa de Δg	31
	3.1.2 Interpretación de los mapas de CAA del campo gavimétrico.	36
	3.1.3 Interpretación de los mapas de gradiente.	38
3.2	Interpretación cuantitativa.	42
	3.1.1 Interpretación de los modelos calculados y los mapas de espesores y potencias de las capas.	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		54
	Conclusiones.	54
	Recomendaciones.	54
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFIAS.	59
	RELACIÓN DE MATERIALES GRÁFICOS.	60

INTRODUCCION

El territorio cubano es considerado un cinturón plegado obducido y acrecionado, sobre el margen pasivo de la Placa Norteamericana, con el desarrollo de sistemas de cuencas en el periodo comprendido entre el Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano al Eoceno Medio, cubierto por secuencias sedimentarias oligomiocénicas poco deformadas. Como consecuencia de las relaciones tectónicas entre las diferentes estructuras geológicas implicadas en la obducción y colisión, se desarrollaron importantes cuencas transportadas, sistemas de cuencas de antepaís y cuencas tensionales que en la actualidad presentan gran importancia en la exploración de acumulaciones de petróleo y gas.

La investigación se desarrolla en un área de 4950 km^2, del sector norte de la Cuenca Central. Geológicamente se caracteriza por la presencia de secuencias sedimentarias pertenecientes a la cobertura separadas por la zona de falla rumbo deslizante La Trocha de las litologías plegadas y sobrecorridas del Arco de Islas Volcánico del Cretácico y secuencias del paleomargen de Bahamas.

Por todo lo anterior planteado y por la necesidad de obtener una distribución tridimensional de las estructuras geológicas del norte de la Cuenca Central que explique las anomalías del campo gravimétrico observadas se hace necesario obtener una caracterización general de las estructuras geológicas que posibiliten explicar las anomalías del campo gravimétrico observadas. En trabajos precedentes se han efectuado caracterizaciones geológicas de tipo cualitativas y cuantitativas y en algunos casos se han obtenido modelos 2D (sísmicos) a través de perfiles de interpretación seleccionados solo de las áreas de mayor interés, con los cuales se tuvo una idea sobre la forma, tamaño, profundidad y espesor de los principales tipos de rocas y estructuras responsables de las anomalías observadas. Lo que conllevó a la necesidad obtener una distribución espacial de estas estructuras geológicas a partir de la interpretación de datos graviméticos del levantamiento desarrollado en la Cuenca Central a escala 1:100 000.

En la presente investigación se realiza la interpretación cualitativa y la modelación 3D de datos gravimétricos con el objetivo de profundizar en la caracterización geológica y estructural de dicha región y con ello proponer un modelo geólogo-

geofísico más detallado para así caracterizar el comportamiento de las estructuras geológicas del Norte de la Cuenca Central a partir de la modelación 3D, además de caracterizar el campo de anomalías de Bouguer, caracterizar los paquetes litológicos teniendo en cuenta sus potencias y espesores y obtener el modelo 3D del norte de la Cuenca Central.

Para cumplir el objetivo propuesto se parte de la siguiente hipótesis científica: Si las características de las rocas y estructuras geológicas de la Cuenca Central se reflejan en el comportamiento de los datos gravimétricos entonces es posible a partir de la modelación 3D de estos datos revelar el comportamiento de dichas estructuras.

CAPITULO I: GENERALIDADES DE LA REGIÓN

1.1 Características físicos - geográficas

1.2 Trabajos geológicos y geofísicos precedentes.

1.3 Características geólogo-tectónica regionales.

1.3.1 ***Estratigrafía de la Cuenca Central***

1.3.2 ***Tectónica de la Cuenca Central***

1.1 Características físicos – geográficas.

Ubicada muy cercana al trópico de Cáncer, Cuba, constituye un archipiélago formado por la isla de Cuba, Isla de Pinos y alrededor de 4 195 cayos e islotes de pequeño tamaño. La superficie del país es de 110 860 km² y sus límites geográficos están entre los 20º 12' 36'' y los 23º 17' 09'' de latitud norte y entre los 80º 53' 55'' y los 84º 57' 54'' de longitud oeste.

Geográficamente el área de estudio se localiza en la porción norte del centro de Cuba, abarcando las provincias Sancti Spíritus y Ciego de Ávila, con un área de 4950 km^2, Figura 1.

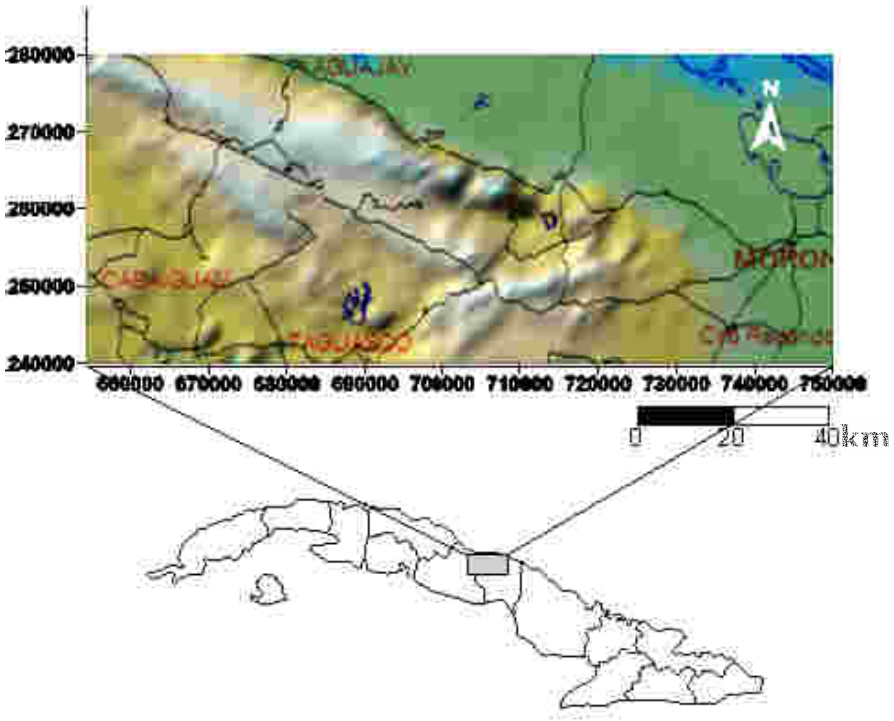


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica.

La región de estudio está delimitada por las coordenadas Lambert siguientes:

X: 650500; Y: 240000 X: 750000; Y: 280000

El relieve predominantemente llano, se caracteriza por llanuras generalmente planas o ligeramente onduladas, con una altitud inferior a los 100 m sobre el nivel del mar y en ellas se asienta casi toda la población y el grueso de las actividades económicas por lo que están bastante transformadas por la actividad del hombre.

El clima es subtropical húmedo, con dos estaciones claramente definidas, la seca (invierno) de noviembre a abril, y la lluviosa (verano) de mayo a octubre y con brisas continuas el año entero que refrescan sustancialmente. La temperatura media anual es de 24°C, la media en invierno es de 20°C y la de verano es de 26-27°C. Durante la temporada invernal es frecuente la entrada de frentes fríos con temperaturas mínimas inferiores a veces a los 10°C. En general esta región central es menos calurosa que en el resto del país. Las lluvias tienen una media anual de 1200 mm (48 pulgadas) con alrededor del 30% de las precipitaciones en el período invernal y el restante 70% en el verano.

La propia configuración de la isla de Cuba, larga y estrecha da lugar a la existencia de ríos de corto curso y reducido caudal en su mayoría y a una divisoria principal de las aguas a todo lo largo del país en dos vertientes: norte y sur. Los ríos principales son: el Zaza, Jatibonico del Norte, Chamba, entre otros. Las cuencas fluviales de igual manera son de relativamente poca extensión donde la mayor de esta área es la Zaza con 2413 km^2.

La flora y fauna se caracterizan por su gran diversidad y alto nivel de endemismo en lo que influyen sin duda la insularidad de la isla y la increíble variedad geológica con una notable presencia de zonas crétacicas, serpentiníticas, de pizarras y sabanas con arenas cuarcíticas, lo que da lugar a una extensa diversidad de hábitat y disímiles condiciones de vida así como también a una gran variedad de suelos.

Para la protección de estas especies endémicas se ha establecido al norte de la provincia de Sancti Spiritus el área protegida, *Buenavista*, la que está considerada reserva de la biosfera, con un área de 3135 km^2.

1.2 Trabajos geológicos y geofísicos precedentes

Con el desarrollo alcanzado por la humanidad en estos tiempos el petróleo se ha convertido en motor impulsor de cualquier economía. Es por eso que nuestro país en los últimos tiempos le ha dado gran importancia a la prospección de los hidrocarburos,

fundamentalmente en las zonas perspectivas para encontrar yacimientos gaso-petrolíferos. La Cuenca Central es una zona perspectiva (Blanco, 1999) y por ello se han realizado un conjunto de investigaciones tanto geológicas como geofísicas, algunas de ellas se citan a continuación:

A partir del año 1954 comenzó a despertarse el interés de los petroleros en esta región, producto a un levantamiento gravimétrico a escala 1:100 000 por la compañía “Subsurface Studies Inc.” (Rajadel, 1995).

Años más tardes (1962-1963) se llevó a cabo un levantamiento magnetométrico y gravimétrico terrestre a escala 1:100 000 reportándose sus resultados en un informe sobre estas investigaciones (Ipatenko, 1963).

Desde julio del 1977 hasta agosto del 1979, se realizaron tres levantamientos gravimétricos para la confección del mapa unificado de anomalías en reducción Bouguer en la región Mayajigua–Morón, bajo la dirección de Saúl Cruz Ramírez perteneciente a la Empresa Nacional de Geofísica. El informe fue redactado y presentado en 1980 por Minerva Rodríguez quien se ocupó del control de la calidad del levantamiento (Rodríguez, 1980).

Según se expresa en dicho informe la red de apoyo se construyó atendiendo a un sistema poligonal con un error medio cuadrático de ± 0.06 mGal. El error de la red ordinaria alcanzó ± 0.1 mGal, en tanto que el error del valor de anomalía en reducción Bouguer, que incluye a su vez los errores que introduce la topografía, ascendió a ±0.17 mGal.

En 1993 se realizó un trabajo utilizando técnicas de procesamiento de imágenes y gradiente total normalizado a partir de datos gravimétricos de la Cuenca Central por Cuevas y otros (Cuevas y otros, 1995), donde se empleó el Imag –PC v. 1.2, que es un programa de procesamiento de imágenes e información bidimensional. Con esta técnica se determinaron contactos geológicos y tectónicos. Además se realizaron los mapas de CAA (Continuación Analítica Ascendente) para determinar estructuras a diferentes niveles de recálculo (0.5 km, 1.0 km y 1.5 km) y con los mapas de gradiente se determinaron en esta investigación las direcciones fundamentales de las diferentes estructuras tectónicas principales.

En este mismo año (1993) se realizó el levantamiento de Jatibonico, Pina y Esmeralda dirigidos por Minerva Rodríguez que cubrió los sectores sin mediciones detalladas con el objetivo expreso de completar el estudio a escala 1:50 000. El error medio cuadrático de la anomalía fue igual a ±0.20 mGal y la metodología de campo fue la misma que la utilizada en el sector Mayajigua–Morón.

En 1998 los investigadores MacPhee y otros, reportaron resultados de estudios geológicos y paleontológicos llevados a cabo en Domo de Zaza, una importante localidad paleontológica para vertebrados del Mioceno Inferior tardío. La que representa una localidad significativa pues en ella aparecieron los primeros mamíferos terrestres del Terciario de Cuba.

En el 2000 la Empresa de geofísica de la Habana realizó un trabajo de regionalización de los campos potenciales en el sector Pina – Cristales - Jatibonico para la búsqueda de zonas perspectivas para la prospección petrolera, por R. Gómez García y J. L. Prol Betancourt. En este trabajo se pretende mostrar las posibilidades prácticas de los Campos Potenciales para la solución de diferentes tareas geológicas. Se realizaron transformaciones del campo gravitatorio y magnético para conjuntamente con otros datos Geólogo - Geofísicos hacer un análisis de la naturaleza geológica de las anomalías regionales y locales. El estudio en esta región permitió delimitar zonas diferentes por su naturaleza geológica; lo que abrió posibilidades para evaluar las estructuras reveladas por la sísmica según el orden de interés.

En este mismo año (2000), se realizó un trabajo dedicado a un estudio generalizado bioestratigráfico de las formaciones vulcanógenas sedimentarias del arco volcánico del Cretácico y su cobertura, en Cuba Central, por G. Furrazola y otros, miembros del Instituto de Geología y Paleontología (IGP) y el Museo Nacional de Historia Natural. En este trabajo se muestran los resultados de los trabajos de campo y generalización geológica, donde se realizó un muestreo más detallado, lo que ha permitido esclarecer algunas de las deficiencias ya señaladas. Se proponen 6 biozonas de foraminíferos plantónicos y su correlación con las biozonas de Rudistas, del intervalo Albiano-Maastrichtiano, incluyendo las secuencias de Cobertura del Campaniano Superior-Maastrichtiano.

1.3 Características geólogo-tectónicas regionales.

Según estudios geólogo-geofísico realizados se ha determinado que la Cuenca Central se ha formado a partir del desarrollo de una zona de fallas de deslizamiento por el rumbo de gran magnitud (Millan, 1987a; Draper y Barros, 1994; Blanco y Figüeras, 1996), generada a raíz de la colisión oblicua del Arco de Islas Volcánico del Cretácico extinto, las ofiolitas septentrionales y el Paleomargen de Bahamas (Figura 2). Según la sistematización adoptada en estas investigaciones en la Cuenca Central, es posible describir y analizar según el registro estratigráfico que está presente desde el Cretácico Campaniano-Maastrichtiano hasta el

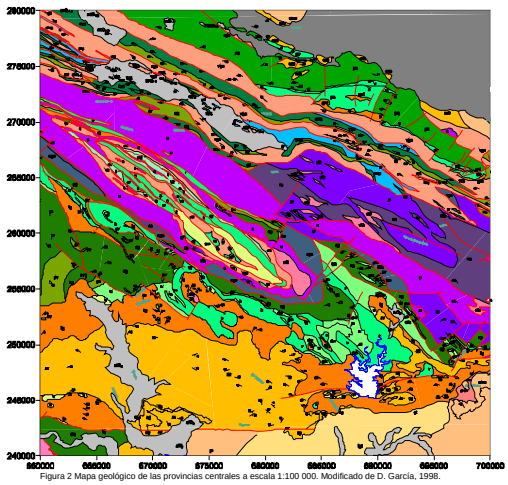
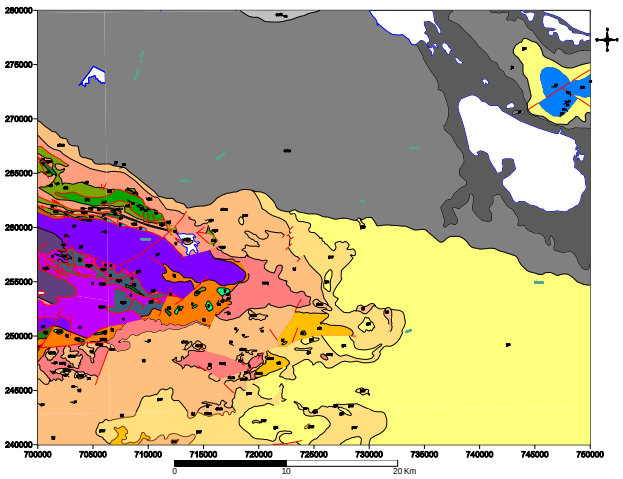
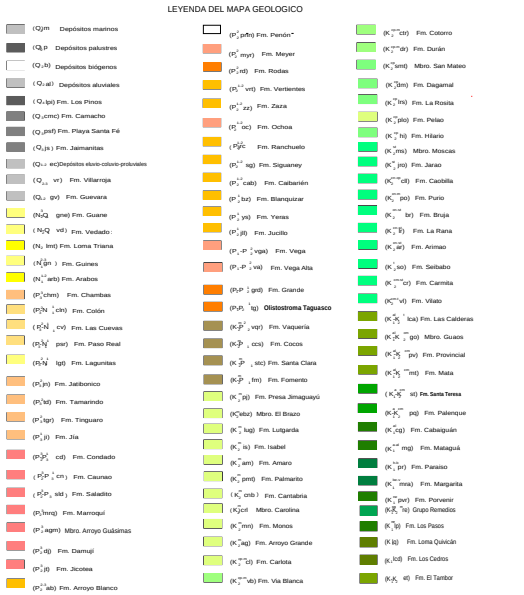


Figura 2 Mapa geológico de las provincias centrales a escala 1:100 000. Modificado de D. García, 1998.





Eoceno Superior, las formaciones litológicas que están comprendidas dentro de las Cuencas de Colisión, en el intervalo Cretácico-Terciario.

1.3.1 *Estratigrafía de la Cuenca Central.*

En el registro estratigráfico del Campaniano-Maastrichtiano indiferenciado las facies se han generalizado como terrígeno-arcillosas con escasas rocas carbonatadas, representadas litológicamente por conglomerados y gravelitas, areniscas y aleurolitas tobáceas de cemento calcáreo. Las rocas arcillosas presentan esquistosidad incipiente y superficies, de fricción pulidas, evidenciando los eventos tectónicos que las afectaron (Sánchez-Arango, 1977; Millan, 1986; 1987b, 1989, Piñeiro, 1990). En la sección del Campaniano Superior aparece una facies terrígena compuesta de conglomerados volcanomícticos, areniscas volcanomícticas y escasas argilitas (Sánchez-Arango, 1977; Millan, 1986; 1987b; 1989). Los depósitos Maastrichtianos están representados por facies terrígeno-arcillosas, compuestas por conglomerados, areniscas, gravelitas, aleurolitas y areniscas de cemento calcáreo y subordinadamente secuencias carbonatadas, descritas como calizas fragmentarias organógenas, pelitomórficas y organógenas recristalizadas (Sánchez-Arango, 1977; Millan, 1986; 1987b; 1989). En el Paleoceno se describen facies terrígeno- carbonatado-arcillosas, (Sánchez-Arango, 1977; Millan, 1986a, b; 1987; 1989) muy poco conservadas fuera de los límites de la cuenca. El registro sedimentario del Eoceno permite describir en su parte inferior facies terrígeno-arcilloso-carbonatadas, con espesores de hasta cientos de metros de conglomerados, gravelitas, areniscas y aleurolitas polimícticas, argilitas calcáreas arcillosas, con inclusiones tobáceas para su sección terrígeno-arcillosa, intercalados en una sección carbonatada donde aparecen calizas pelitomórficas, organógenas y arcillosas. Manteniéndose las facies terrígeno-arcilloso-carbonatado para el Eoceno Medio y variando a terrígeno-carbonatado-arcilloso en el Eoceno Superior (Sánchez-Arango, 1977; Millan, 1986; 1987b; 1989).

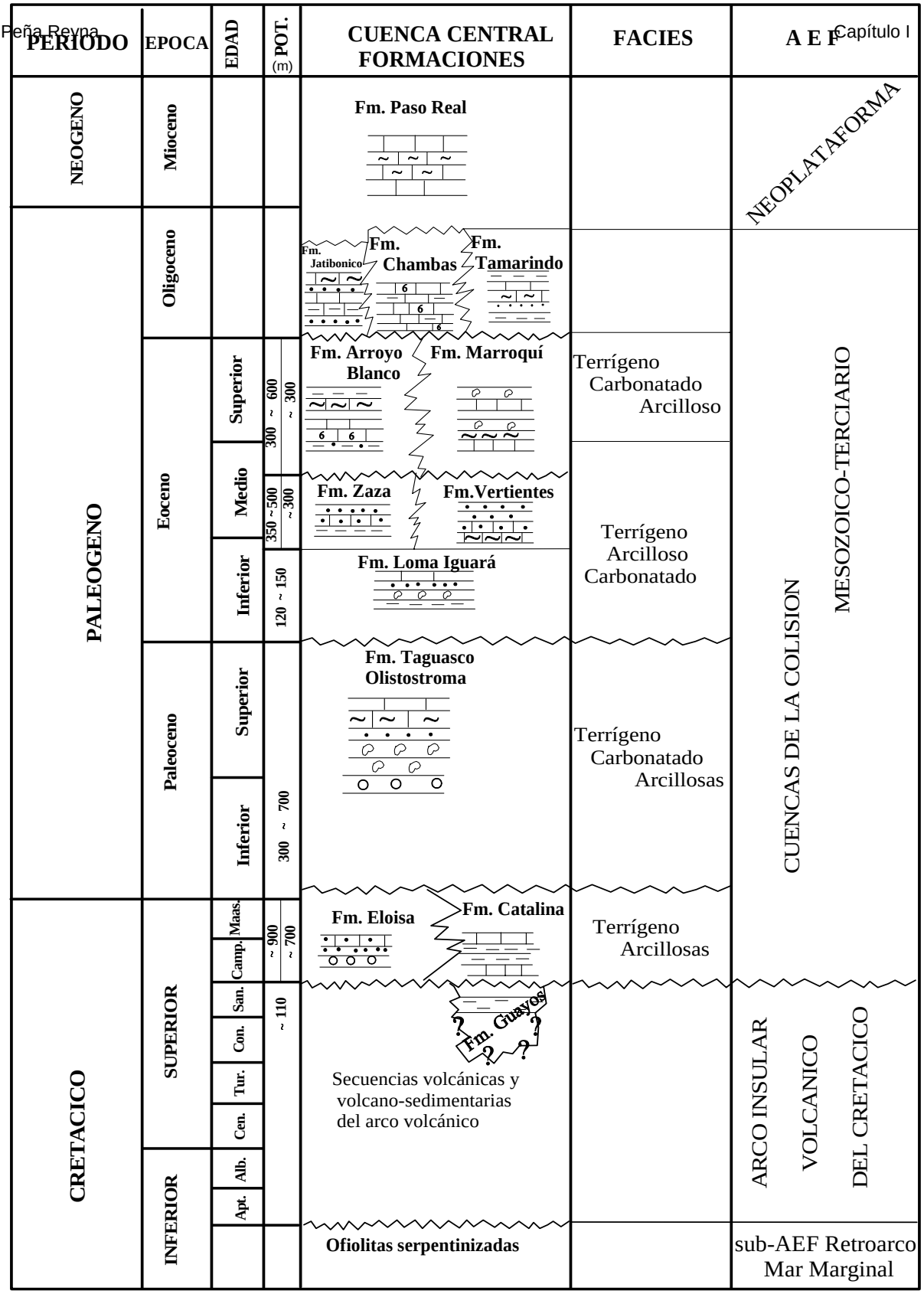


Figura 3. Columna generalizada de la Cuenca Central (Blanco, 1999).

El conjunto de formaciones de la Cuenca Central en estas investigaciones se ha generalizado en una columna estratigráfica según el siguiente orden: formaciones Guayos, Catalina y Eloisa en su sección cretácica y las formaciones Taguasco, Jatibonico, Arroyo Blanco, Zaza, Loma Iguará, Marroquí, Chambas y Tamarindo como representantes terciarios como se muestra en la Figura 3. Para ello se tomó en cuenta las características estratigráficas de las mismas en los bordes de la cuenca y en las perforaciones para la prospección y extracción de petróleo, más el conjunto de interpretaciones anteriormente realizadas (Hatten y otros, 1958; Sánchez-Arango, 1977; Linares, 1978; Millan, 1986; García, 1986; Álvarez-Castro, 1994, Guerra, 1996, Rodríguez, 1996; Blanco y Figüeras, 1996).

Fm. Guayos, (Bandt, 1958). Su sección tipo está descrita en el pozo Guayos 1 en el intervalo 1796-1906 m. Su litología predominante es de lutitas de color oscuro, presentando también areniscas y conglomerados en sus variaciones faciales laterales y verticales, que han sido descritas en los pozos de los yacimiento Catalina y Cristales (Millan, 1986) como se muestra en la Figura 4 y en el pozo Adelaida. Está formación descansa discordante sobre las tobas y representantes volcánicos del Arco de Islas y es sobreyacida siempre en contacto no esclarecido por la Formación Catalina del Campaniano Superior-Maastrichtiano.

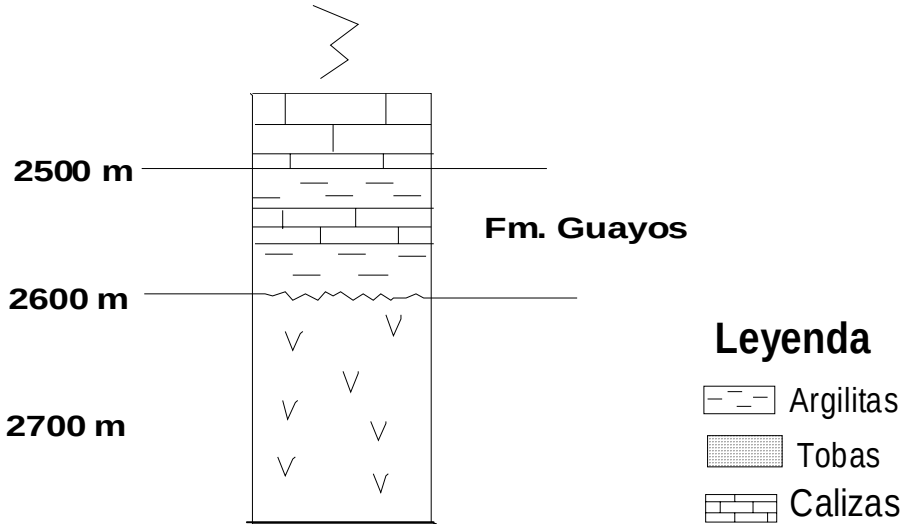


Figura 4. Formación Guayos, pozo Catalina 6.

En base a su posición estratigráfica pues no se han reportados fósiles, su sedimentación debió ocurrir en un intervalo post-Cenomaniano y pre-Campaniano Superior (Millan, 1986; Segura y otros, 1988). Esta formación sólo tiene algunos equivalentes en superficie en la provincia de Camagüey hacia la localidad de Vertientes (Wallace, 1956, Millan, 1986; Linares, comunicación

personal, 1998). En la literatura geológica se reporta que en otros arcos volcánicos fósiles, en su parte superior aparecen formaciones de este tipo justo en los últimos estadios de desarrollo, antes de iniciarse un proceso de colisión, levantamiento y sobrecorrimiento (Schott y Johnson, 1998), complementando la concepción inicial de Millan (1986). Los contenidos de carbón bituminoso con pirita en la formación Guayos indican un medio de sedimentación restringido y anóxico (Millan, 1986), esto hace que se pueda considerar favorable en una valoración de sus posibilidades como roca madre de petróleo.

Fm. Eloisa, (Hatten, 1956). Su edad está determinada a partir de su fauna compuesta por *Sulcoperculina Sp. Pseudorbitoidae. Globotruncana Sp, Hedbergela Sp. Globigerinelloides Scheri. Pseudotextularia Elegans* como Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano. Descrita como un corte que transiciona verticalmente desde una base conglomerática vulcanomíctica a un material más calcáreo y arenoso hacia el techo (Millan, 1986). Litológicamente está formada por conglomerados con fragmentos de andesitas grises, basaltos negros y calizas organógenas en una matriz compuesta por margas arcillosas de color crema con fracción organógena, argilita calcárea con pirita y materia orgánica, areniscas polimícticas y gravelitas como se muestra en la Figura 5 (Sánchez-Arango, 1977; Millan, 1986, 1987b). Esta formación representa los primeros sedimentos acumulados en la parte superior de las secuencias del Arco Volcánico Cretácico luego de su extinción y levantamiento.

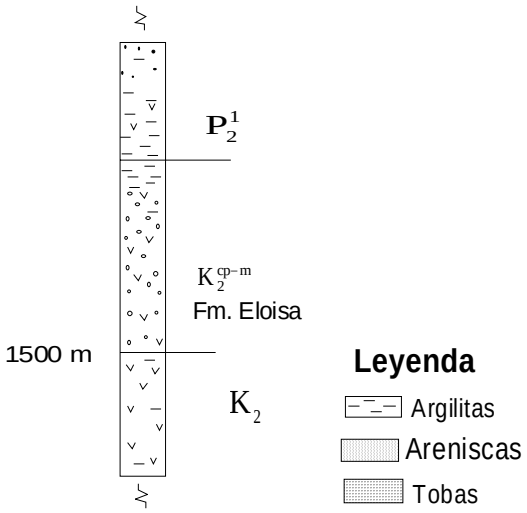


Figura 5. Formación Eloisa, pozo Pina Norte.

En el análisis de los clastos y fósiles presentes se determinó que su ambiente de deposición fue variado desde un medio fluvial a abanicos submarinos de aguas profundas pasando por mares someros, como se constata en las secuencias cortadas por los pozos perforados dentro de la

Cuenca Central donde están mejor conservados los sedimentos Campaniano Superior-Maastrichtiano que en muchas ocasiones son colectores de petróleo en sus secciones conglomeráticas y pueden constituir sellos locales debido a sus espesores arcillosos (Álvarez-Castro, 1994). En la porción centro oriental de estudio la formación es correlacionable con la Fm. Duran de la región de Camagüey.

Fm. Catalina. Se ha descrito a partir de las perforaciones en el Yacimiento Catalina en la provincia de Ciego de Ávila, considerando su sección tipo en el intervalo 1850-2170 m en el pozo Catalina 1, (Hatten y otros, 1958; Sánchez-Arango, 1977; Milán, 1986). La formación está constituida por una secuencia terrígeno-clástica-carbonatada de arcillas arenosas carbonatadas y micáceas, areniscas arcillosas y calizas organógenas amarillentas duras. Dentro de la formación se ha distinguido el Miembro Cristales (Millan, 1986), determinándose su sección tipo en el pozo Catalina 15 (2160-2280 m.) como calizas con intercalaciones de argilitas gris oscuro. Sus fósiles fueron estudiados en el pozo Catalina 5 (Sánchez-Arango, 1977) correspondientes a una edad Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano. Los sedimentos del Mb. Cristales son típicos de una zona de bancos biostrómicos, desarrollados aisladamente en el área que ocupaba la Cuenca Central y se extienden hasta la Cuenca de Ana María como lo demuestran los trabajos sísmicos y de perforación realizados en la zona de Cayo Rabiahorcado y la antigua perforación del Tortuga Shoal, lo que se puede observar en la Figura 6. La secuencias de lutitas carbonatados grises con intercalaciones de arenisca calcáreas de la Fm. Catalina (Sánchez-Arango, 1977), han sido reportadas en varios pozos dentro de la Cuenca Central con edad y litología semejante Sancti Spiritus 1 y 2, Bijabo 2, 3, 4 y 5, Maritza 1, La Rosa 3, estas secuencias son potentes con varios cientos de metros de espesor y con coloraciones oscuras a negras, acumuladas en aguas con variadas profundidades con salinidad normal (Sánchez-Arango, 1977 y con contenidos de carbono orgánico total medios 0.46 % (Pairazian y otros 1975), que aunque bajos tienen un gran volumen debido a la potencia y desarrollo de estas secuencias, por ello no se deben perder las perspectivas de considerarlas como posibles rocas madres dentro la Cuenca Central y aún más importante para la zona de offshore en la Cuenca Ana María situada al sur, y con regularidades similares a la zona del Yacimiento Catalina, en las localidades de Cayo Rabihorcado y Tortuga Shoal.

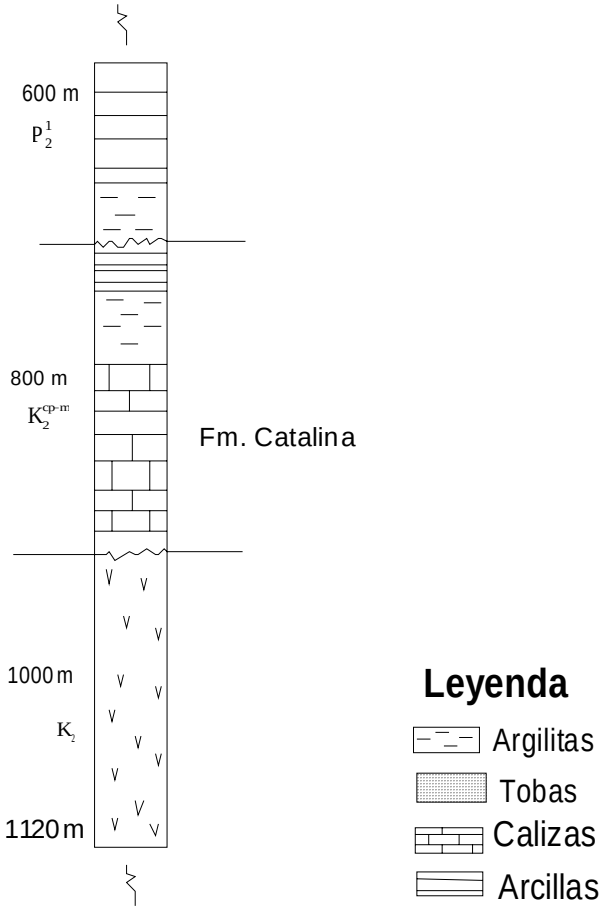


Figura 6. Formación Catalina, pozo Cristales 63.

Fm. olistostroma Taguasco, aflora en la parte centro oriental de la provincia de Sancti Spiritus y en la noroccidental de Ciego de Ávila. Está compuesta en su base por conglomerados y conglobrechas polimícticas. En la parte superior se caracteriza por una alternancia flyschoide de areniscas, aleurolitas, margas y calizas con intercalaciones de conglomerados, bloques y olistolitos de rocas cretácicas de composición variada: andesitas, granitoides, silicitas, calizas y areniscas. Los olistolitos y bloques se encuentran sumergidos en una matriz bien estratificada. Esta formación yace discordantemente sobre las formaciones Cabaiguán, Provincial, La Rana, Carlota y Catalina, estando cubierta por las formaciones Arroyo Blanco y Zaza. Según los foraminíferos *Globorotalia aequa. G densa,* tiene una edad Paleoceno Inferior - Eoceno Inferior parte baja, depositándose en condiciones de un relieve desmembrado, desarrollado sobre rocas vulcanógeno-sedimentarias activamente desintegradas y transportadas, acumulada sobre éste substrato en aguas marinas de profundidad variable, con espesores de la formación que oscilan entre los 300 y 400 m. Los horizontes paleogénicos se encuentran en los pozos Bijabo 1

y 2, Catalina 5 y 6 representados esquemáticamente en la Figura 7, Vega Grande y Sancti Spiritus (Léxico estratigráfico de Cuba, 1988).

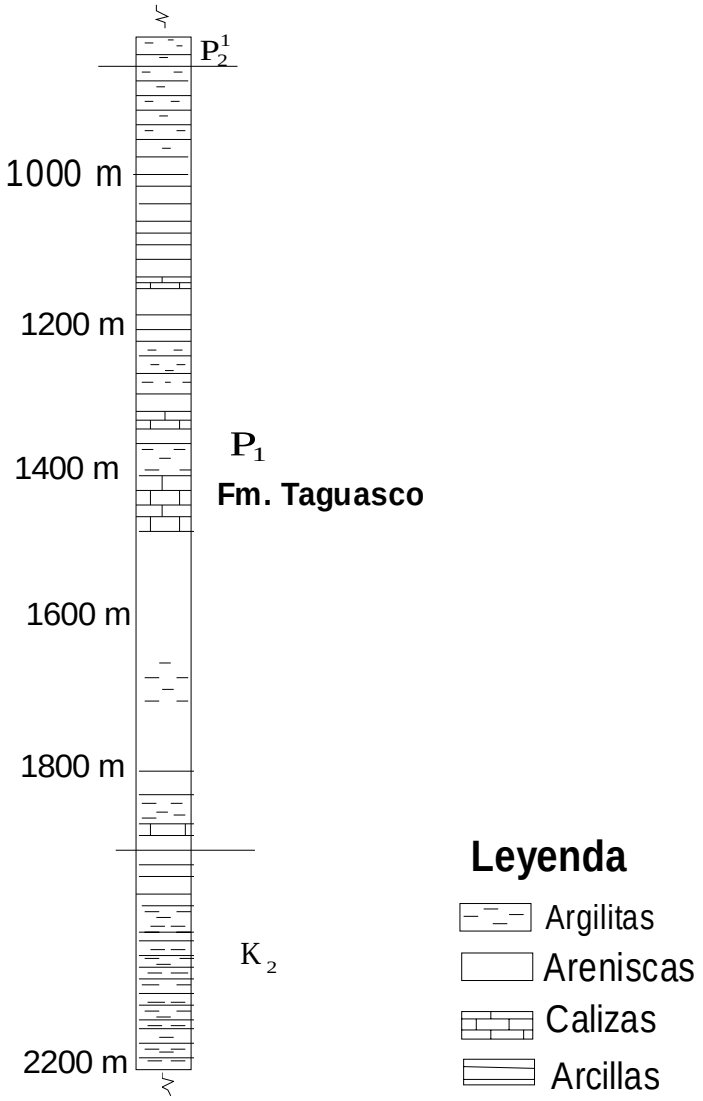


Figura 7. Formación Taguasco, pozo Catalina 6.

En la literatura se ha esgrimido una equivalencia entre esta formación y las secuencias conglomeráticas de abundantes clastos de granitoides que se encuentran distribuidas en las provincias de Ciego de Ávila y Camagüey (Iturralde-Vinent, 1996) al este de la zona de falla La Trocha; pero se deben diferenciar en cuanto a su nomenclatura, pues las cuencas de sedimentación y por ende, las fuentes de suministro no son las mismas. Así, en el pozo Morón 1 se reporta la Formación Vega de edad Paleoceno, con una típica bimodalidad de sus clastos carbonatados y dolomíticos de las secuencias del Paleomargen y silicicoclasticos del cinturón

plegado típico de una cuenca de antepaís. En el levantamiento del CAME reportan en pozos conglomerados de granodioritas con posiciones estratigráficas equivalentes, pero con un gran predominio de los representantes ígneos ácidos como también ocurre en el pozo Violeta I (Rawlinson, 1998) en el que se reporta fauna del Paleoceno-Eoceno en las zonas de fallas cortadas por la perforación pertenecientes a la cuña superior del sistema de cuenca de antepaís.

Fm. Loma Iguará. Definida inicialmente por C.W. Hatten y otros, 1958, aflora en las lomas Iguará, Juan López y otras pequeñas elevaciones borde occidental de la Cuenca Central, caracterizadas por brechas polimícticas, calizas fragmentarias, calizas clásticas algo arcillosas, calizas arcillosas, calizas detríticas, calizas recristalizadas, margas, areniscas y silicitas. Yace discordantemente sobre el Olistostroma Taguasco y es cubierta concordantemente por la Fm. Zaza, donde predominan los foraminíferos planctónicos, y algunos radiolarios definiendo un paleoambiente batial con una edad Eoceno Inferior parte baja (Léxico estratigráfico de Cuba, 1988).

Su espesor oscila entre 120 m y 150 m y es cortada en los pozos de los campos de petróleo Cristales y Pina, y en los pozos Guayacanes 1, Guayos 1 y 4, Reforma 7 y Marroquí 2. En los pozos pasa de una secuencia de conglomerados polimícticos en la base hacia, areniscas polimícticas, limolitas y arcillas (Linares, 1978; Guerra, 1996) manifestando una desarrollo granodecreciente a medida que transiciona a la Fm. Zaza.

Fm. Zaza (Thiadens, 1937), en superficie esta formación tiene un amplio desarrollo en las provincias de Sancti Spiritus y en el excesivo occidental de Ciego de Ávila y constituye una secuencia de tipo flyschoide, representada por intercalaciones de areniscas polimícticas y vulcanomícticas, argilitas, margas, conglomerados polimícticos y en menor proporción, calizas. La fauna predominante define una edad Eoceno Inferior parte alta-Eoceno Medio. Es correlacionable con la Fm. Vertiente que aflora en las provincias de Ciego de Ávila y Camagüey. El límite inferior de esta formación es a través de un contacto transicional cuando yace sobre los sedimentos de la Fm. Loma Iguará, y discordante con un carácter erosivo cuando cubre las tobas del Arco Volcánico Cretácico (Millan, 1986), esto es un indicio más de la presencia de discordancias progresivas dentro de la Cuenca Central. El límite superior está dado por el contacto discordante con la Fm. Arroyo (Léxico estratigráfico de Cuba, 1988; Rodríguez, 1996)

Los sedimentos de esta formación así como parte de los del Maastrichtiano representan el sello regional de todos los yacimientos del noreste de la Cuenca Central (Millan, 1987b). El

espesor de la misma oscila entre 350 y 500 m, siendo cortada entre otros por los pozos Sancti Spiritus 1, Catalina 6 y Cometa 1, Pina 32 (Millan, 1987b; Rodríguez, 1996).

Fm. Arroyo Blanco (Hatten y otros, 1958). Su descripción origina es de alrededores del pueblo de Arroyo Blanco y al noroeste del pueblo de Jatibonico, provincia de Sancti Spiritus. Está representada por aleurolitas, margas, areniscas calcáreas, conglomerados polimícticos, areniscas polimícticas, calizas organógeno-detríticas, calizas arenosas, calizas organógenas, brechas y margas arenosas. Contiene fauna de foraminíferos planctónicos y bentónicos que definen una edad del Eoceno Medio parte alta al Eoceno Superior (Léxico estratigráfico de Cuba, 1988). El ambiente de deposición fue nerítico de poca profundidad y su espesor oscila entre los 300 y 600 m (Millan, 1986). Es cubierta discordantemente por los sedimentos de las formaciones Chambas, Jatibonico y Tamarindo, yaciendo discordantemente sobre las formaciones Vega Grande, Zaza y el Olistostroma Taguasco. Transiciona lateralmente a la Fm. Marroquí. Fm. Marroquí. Aflora desde la localidad de Santa Ana hasta las Yayas y desde la Venturilla hasta la Carretera Chambas-Tamarindo, así como al oeste de la Loma El Capital, Provincia de Ciego de Ávila. Está constituida por conglomerados bréenosos, areniscas, gravelitas, calizas y margas. Los conglomerados contienen fragmentos con dimensiones de gravas y guijarros pequeños, rara vez de guijarros medios y grandes. La composición de los clastos está dada fundamentalmente por rocas carbonatadas -entre un 75-80 porciento- y en menor proporción diabasas, andesitas, serpentinitas y silicitas. La matriz es de calizas clásticas con mezcla de fragmentos volcánicos. Las areniscas presentan estratificación horizontal, rara vez oblicua y tienen un carácter que transiciona desde una composición polimíctica hasta biocalcarenitas. Las mezclas terrígenas son de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y fragmentos de rocas volcánicos. Las calcarenitas son intraclásticas-biodetríticas con cemento calcáreo.

La fauna de esta formación está representada fundamentalmente por macroforaminíferos, su edad ha sido determinada como Eoceno Superior. El ambiente de acumulación fue de aguas poco agitadas en condiciones neríticas y presenta un espesor promedio de 300 m.

1.3.2 *Tectónica de la Cuenca Central.*

Tectónicamente esta cuenca se encuentra asociada a la región del desarrollo meso-cenozoico de la falla rumbo deslizante La Trocha (Millan, 1987a; Draper y Barros, 1994; Blanco y Figüeras, 1996). Al suroeste está limitada por el Macizo Metamórfico Escambray, su límite noroeste lo constituye las secuencias plegadas y sobrecorridas del Arco de Isla Volcánico del

Cretácico y las formaciones Remedios, Placetas y Camajuaní, separadas de estas por la Zona de fallas inversas Zaza-Tuinicú. Al norte limita con la cuenca de antepaís cubana, de la cual está separada por pequeños levantamientos tectónicos de las formaciones del Paleomargen de Bahamas, provocados por el proceso de obducción en el Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano al Eoceno Medio. Al sur limita con la Cuenca de Ana María, siendo este el límite menos estudiado; al este limita con el elevado estructural de Júcaro que la separa de la Cuenca Vertientes y por el noreste con el Complejo Esmeralda, separadas ambas estructuras por la zona de falla rumbo deslizante La Trocha. La Cuenca Central es considerada como un emigraben, con un espesor de hasta 5 km de rocas terrígeno-carbonatadas de edad Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano al Cuaternario. Una secuencia inferior de fines del Cretácico Superior Maestrichtiano al Eoceno Medio en el que aparecen formaciones molásicas y flyschoides Fm. Eloisa, Fm Taguasco y Fm. Loma Iguará, lo que demuestra una acumulación en condiciones de inestabilidad tectónica en cuencas asociadas al proceso rumbo deslizante, esto provoca que exista una tectónica compleja, generando pliegues y fallas sinorogénicos dentro del conjunto terrígeno-carbonatado, que puede haber provocado la formación de trampas gasopetrolíferas combinadas.

La secuencia superior de edad Eoceno Superior al Reciente, es carbonatado-terrígeno fundamentalmente (Millán, 1989), depositada a partir de los últimos movimientos tectónicos intensos e inicio y desarrollo del proceso de plataformización donde fundamentalmente se desarrolla una tectónica de bloques.

El borde noroccidental de la Cuenca es típico de un proceso de transpresión en el que se generan fallas inversas y secundarias con pliegues en *echelon,* desarrolladas en las formaciones del Eoceno Medio parte alta al Oligoceno: Fm. Arroyo Blanco y Fm. Jatibonico.

La Cuenca se fue ensanchando paulatinamente, característico de las cuencas tensionales, lo que queda evidenciado en el análisis de los espesores de las secuencias del Campaniano-Maastrichtiano. En este período la sedimentación ocurría fundamentalmente en distintas cuencas intramontanas transportadas, donde existían algunas partes elevadas tectónicamente en las que no existía sedimentación como en los elevados de Jatibonico y Majagua. El análisis estratigráfico permite suponer que el proceso de hundimiento fue rápido pero compensado. En el período del Paleoceno al Eoceno la sedimentación ocurrió fundamentalmente en cuencas transportadas y en los frentes de los mantos de cabalgamiento. A partir del Eoceno Medio y Superior los movimientos de obducción y sobrecorrimientos comienzan a disminuir, la sedimentación se desarrolló en el lugar que actualmente ocupa la cuenca, adquiriendo su configuración final en el intervalo Neógeno-Cuaternario.

En general, la cuenca se divide en dos zonas con características tectónicas diferentes, una zona suroccidental y otra noroccidental separadas entre sí por fallas profundas transversales. Estas zonas mantienen la dirección general de la cuenca (Blanco, 1999). La zona suroccidental se caracteriza por el hundimiento continuo donde se alcanzan los mayores espesores de sedimentos, mientras que la zona noroccidental se mantiene relativamente levantada con respecto a la anterior, siendo esta la de mayor grado de estudio, tanto por geofísica como por perforaciones de los yacimientos descubiertos. Los datos demuestran que está intensamente fracturada, dividida en numerosos bloques tectónicos con desplazamientos relativos de hasta l000 m en dirección sub-latitudinal y de 100 a 300 m en dirección sub-longitudinal.

En dirección sub-latitudinal aparece al norte una franja levantada, con sectores perspectivos para la acumulación de hidrocarburos, mientras que al sur aparece otra área levantada con características de horst tectónico en la cual se destacan los bloques Majagua, Farfán y Cristales-Guayacanes-Mamonal (Blanco, 1999). Hacia el centro de la región y en los flancos de estas elevaciones encontramos zonas relativamente deprimidas como Adelaida, Marroquí y Melones.

CAPITULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Metodología de la investigación.

2.2 Principios teóricos y métodos utilizados.

2.3 Características petrofísicas.

2.1 Metodología de la investigación

En esta investigación se realiza el procesamiento e interpretación de los datos gravimétricos del levantamiento geológico complejo 1:100 000 de la región de la Cuenca Central de Cuba, con el objetivo de caracterizar el comportamiento de las estructuras geológicas a partir de la modelación 3D y con ello proponer los aspectos metodológicos generales a tener en cuenta en futuros trabajos de comprobación de campo, lo cual permitirá orientar los futuros trabajos de prospección de yacimientos de hidrocarburos en el territorio, a partir de la aplicación de nuevas técnicas del procesamiento e interpretación de la información geológica y geofísica.

Para cumplir el objetivo propuesto inicialmente los datos gravimétricos del mapa de anomalías de Bouguer fueron recuperados digitalmente, posteriormente se calcularon diferente transformaciones del campo gravimétrico, es decir, gradientes horizontales y Continuación Analítica Ascendente (CAA), que una vez interpretadas aportaron nuevos elementos sobre las características geológicas y estructurales de la región, los cuales se enriquecieron con el modelo propuesto a partir de la modelación 3D.

Para el desarrollo del presente trabajo de diploma se dividió, metodológicamente, en tres etapas principales.

Etapa preeliminar: En esta etapa se estableció el área de trabajo, garantizando que en ella quedara incluida la parte norte de la Cuenca Central asumiendo como límites geográficos: (X: 650500; Y: 240000); (X: 750000; Y: 280000), abarcando un área aproximada de 4950 km^2. Una vez establecida el área de trabajo se procedió a la revisión y recopilación de información bibliográfica, durante la cual se consultaron diferentes trabajos geológicos y geofísicos realizados en la región de estudio y otros relacionados con la temática de investigación llevada a cabo en otras regiones del mundo.

De los trabajos consultados se asumió gran parte de la información litológica, tectónica que posteriormente se utiliza en la investigación (Blanco, 1999; Millan, 1986; 1987b, 1989; Iturralde-Vinent, 1998; Piñeiro, 1990; Draper y Barros, 1994; Blanco y Figüeras, 1996).

La información geólogo–tectónica obtenida, estuvo dada fundamentalmente por datos de pozos que se encontraban en la zona, los pozos que fueron perforados por la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo y Gas Oriente (EPEPGO) durante levantamientos realizados para búsqueda y prospección. Las profundidades de estas perforaciones varían desde unos cientos de metros hasta miles de metros, donde se perforó en ocasiones el basamento de la Cuenca. Esta búsqueda se complementó con información del Mapa Geológico Digital de las Provincias Centrales a escala 1: 100 000 (García y otros, 2001)

La información geofísica se obtuvo de la base de datos gravimétricos del levantamiento desarrollado en la Cuenca Central, a escala 1:100 000, donde como resultado se generó el mapa de anomalías de Bouguer.

Segunda etapa: Esta etapa estuvo dirigida al procesamiento de la información geológica-geofísica.

Para llevar a cabo esta investigación se tomó como base el levantamiento gravimétrico a escala 1: 100 000 de la Cuenca Central. Para realizar la misma se contaba solo con el mapa de anomalías de Bouguer impreso. Por este motivo se recuperó a partir de dicho mapa una matriz digital de datos gravimétricos (Batista, 2000), con la cual se realizaron diferentes transformaciones del campo, necesarias en esta investigación.

Para la recuperación de la matriz digital, en el mapa impreso se fijaron varios puntos con coordenadas (x, y) conocidas, para hacer la función de puntos de control, además se mejoró el trazado de algunas isolíneas. Luego con un scanner LEXMARK-X1130 se escaneó este mapa en cuatro partes, conformándose una imagen de cada una de ellas, con una resolución de 300 ppm, las que se georeferenciaron en las coordenadas planas del sistema Cuba Norte utilizando los puntos de control.

Para la digitalización de tipo vectorial manual y rectificación de las isolíneas vectorizadas se utilizó el AutoCad Map® 2000 de Autodesk, Inc., asignándole a cada isolínea del mapa su valor del campo gravimétrico según el mapa original. Posteriormente se importaron estas isolíneas a un formato xyz con DXF2XYZ 1.3 de Guthrie CAD/GIS Software del 2000 y se generó una base de datos numérica para cada uno de los sectores escaneados que contienen la posición y el valor del campo gravitatorio de diferentes puntos, distribuidos a lo largo de las isolíneas que conforman el mapa.

Esa base de datos se regularizó con el software Surfer® versión 8.01 - may 9 2002 (Surface Mapping System, Copyright[c]1993-2002, Golden Software, Inc), utilizando como método de regularización el Kriging.

Con cada base de datos regularizada se construyó el mapa de anomalías de Bouguer con similares características de representación a las del mapa original. Luego se compararon ambos mapas y se comprobó que no existían diferencias significativas entre ellos.

Todas las bases de datos conformadas a partir de las diferentes partes del mapa escaneado se unieron en una base única, la cual se llevó a los formatos necesarios para su posterior procesamiento con diferentes *software*.

El sistema visual humano está mejor preparado para interpretar imágenes (mapas de colores) que mapas de contornos, por ese motivo la mayoría de los mapas geofísicos se muestran en forma de imágenes a partir de las cuales se puede revelar información escondida en los mapas de contornos (Cordell and Knepper, 1987). Por lo ante señalado el mapa obtenido durante el procesamiento anteriormente explicado (mapa de anomalías de Bouguer) y algunos derivados de este se representan en forma de imágenes con el objetivo de mejorar el proceso de interpretación cualitativa.

A fin de realizar un estudio con profundidad del área y tomando como base el mapa de anomalías de Bouguer recuperado digitalmente, se realizó el procesamiento de este con el software IMAG-PC versión 1.2 (COPEXTEL, 1993), el cual se emplea para procesamiento de datos geofísicos, donde se obtuvieron inicialmente los mapas de Continuación Analíticas Ascendente (CAA) a las alturas de recálculo de 500 m, 1000 m, 1500 m, 2000 m y 3000 m de los cuales se utilizaron en esta investigación los de 500 m y 1000 m, porque a partir de los 1000 m de altura de recálculo no se aprecia en el campo gravimétrico el efecto de las características geológicas del medio.

Estos mapas fueron realizados con el objetivo de resaltar anomalías regionales del campo gravitatorio para determinar así, el efecto de las estructuras geológicas más profundas fallas, pliegues, diapiros de sal, contactos litológicos (Mironov, 1977; Delgado, 1985,; Cuevas y otros, 1995; Cuevas y otros, 2001; Pinto y otros, 2002; Insua y otros, 2004; Gómez y otros, 2001); las que presentan el mayor interés desde el punto de vista petrolero, además de dar información sobre estructuras tectónicas, dadas por cambios bruscos de los valores del campo gravitatorio a diferentes profundidades (Insua y otros, 2004; Cuevas y otros, 1995;).

Esta base digital del mapa de anomalías de Bouguer fue empleada para la realización de los mapas de gradientes horizontales con el objetivo de detectar zonas de fallas y de contactos

abruptos entre las diferentes litologías presentes en la región (Días y otros, 1987; Batista, 1998; Blanco y otros, 2000), los que se realizaron con ayuda del software Geosoft (Geosoft Inc, 1992).

Los mapas de gradiente fueron representados como mapas de relieve sombreados (Días y otros, 1987; Cuevas y otros, 1995, Batista, 1998; Blanco y otros, 2000). Este procedimiento se realizó en dos etapas, primeramente se generó el mapa en el Surfer® 8.01, los que se procesaron utilizando las técnicas de procesamiento de imágenes.

Dentro de estas técnicas se empleará la iluminación artificial - mapa de relieve sombreado, la que es útil para mejorar los picos de anomalías de altas longitudes de ondas (Horn and Bachman, 1978). Para el procesamiento de este mapa se utilizó el noroeste y noreste como dirección de iluminación artificial con una inclinación de 45^0.

En la segunda etapa se determina la existencia o no del evento buscado, es decir, la posible existencia de fenómenos o eventos (tectónicos o geológicos) no reconocibles en los mapas de contornos estándar (Díaz y otros, 1987; Cuevas y otros, 1995; Rivero y otros, 2001). Por ejemplo la existencia de alineaciones, se puede determinar fácilmente mediante la técnica de la iluminación artificial. En este caso de los lineamientos, van a corresponderse según la información gravimétrica con anomalías de fallas, zonas mineralizadas, contactos litológicos, entre otras (Delgado, 1985).

Los mapas generados constituyen mapas raster basados en un fichero GRD que usan diferentes colores para indicar el ángulo y dirección de inclinación de la superficie con relación a la dirección de la fuente de luz definida por el usuario. El software Surfer® 8.01 determina la orientación de cada celda de la red sobre la superficie y asigna un color único a cada una. Como los colores son asignados a cada una de las celdas de la red sobre un mapa de relieve sombreado, debe disponerse de una red altamente densificada que garantice un mapa con la calidad requerida.

Luego de realizada la interpretación cualitativa de los mapas de anomalías de Bouguer, CAA y de relieve sombreado se realizó la interpretación cuantitativa, a través de la modelación 3D de los datos gravimétricos. Para ello inicialmente se procedió al procesamiento de la información obtenida de los pozos perforados en la región de estudio destinados a la prospección y exploración de petróleo y gas por la EPEPGO, por la donde se determinaron espesores de unidades litológicas de acuerdo con los criterios estratigráficos planteados por Blanco (1999). Para realizar el proceso de inversión 3D se siguió la metodología sugerida por

Gallardo y otros 2003, Batista y Pérez, 2005; Pérez y otros, 2005, en la cuál inicialmente se definen los grupos o capas de rocas que conforman el modelo a priori.

De acuerdo con la ubicación en el corte de las unidades litológicas (Blanco, 1999) y sus respectivos valores de densidades (Iturralde-Vinent, 1986), se clasificaron en seis grupos: cobertura sedimentaria, las secuencias vulcanógenas sedimentarias pertenecientes al arco de islas volcánico del Cretácico, la presencia de posibles intrusivos de edad Cretácica, litologías de la asociación ofiolítica, secuencias del Paleomargen de Bahamas y el basamento metamórfico.

Posteriormente para la ejecución de la inversión 3D el área de estudio se dividió en 490 prismas de 3x3 km de área. Con prisma en los bordes de 100 km de ancho. Este modelo se construyó utilizando los afloramientos de los diferentes tipos de rocas que conforman cada capa, según el mapa geológico de la región (Figura 2). En el mismo la geología superficial entró como dato del modelo a priori, es decir, los prismas de los modelos se fijaron solo en aquellas zonas donde afloran las litologías que componen cada capa, mientras que las profundidades máximas de éstas se tomaron de acuerdo a los datos de los pozos perforados, consideran espesores hasta 10 km para las rocas sedimentarias, 5.0 km para rocas volcánicas cretácicas, 4.0 km para los intrusivos, 4.0 km para las rocas de la asociación ofiolítica, 10.0 km para las rocas del paleomargen y 10.0 km para el basamento metamórfico.

La topografía es otro elemento que forma parte de los datos iniciales del modelo. Como el área se caracteriza por una topografía relativamente plana, en dicho modelo inicial esta se considero como un plano.

Con ayuda del software desarrollado por Gallardo y otros. (2003) se realizó la inversión 3D utilizando una densidad de 2.2 g/cm^3 para la cobertura sedimentaria(1), 2.56 g/cm^3 para la las secuencias vulcanógena-sedimentarias(2), 2.60 g/cm^3 para los cuerpos intrusivos(3), de 2.46 g/cm^3 para las rocas de la asociación ofiolítica(4), de 2.50 g/cm^3 para las secuencias del Paleomargen de Bahamas(5) y de 2.8 g/cm^3 para el basamento metamórfico(6), con las cuales se obtienen contraste de: Capa 1/2= -0.36 g/cm^3; Capa 2/3= -0.04 g/cm^3; Capa 3/4= 0.14 g/cm^3; Capa 4/5= -0.04 g/cm^3 y Capa 5/6= -0.30 g/cm^3 .

Para el proceso de inversión se empleó como factor de ajuste β=-2, el cuál permitió obtener un modelo más cercano a lo esperado geológicamente. Ejemplo de esto se mostrará posteriormente en la Figura 9b.

Una vez realizada la inversión 3D se comparó el campo gravimétrico observado con el calculado y se determinó un buen ajuste entre ambos. Posteriormente se construyeron mapas de profundidades y espesores de las capas analizadas en el contexto geológico de la región, los se refieren al límite inferior de los grupos de roca. Por último se trazaron varias secciones transversales en las direcciones N-S y W-E del modelo tridimensional y se construyó un esquema resultante de la interpretación.

Finalmente en esta etapa se obtendrán:

- Mapa gravimétrico de anomalías de Bouguer observadas, recuperado digitalmente.
- Mapa de profundidades y espesores de los principales paquetes litológicos.
- Modelo 3D del norte de la Cuenca Central.
- Esquema de Interpretación geólogo-geofísico.

Tercera etapa: Esta etapa estuvo consagrada a la interpretación conjunta de los mapas obtenidos en la segunda etapa, mapa digital de anomalías gravimétricas, los mapas de continuaciones analíticas ascendente a las alturas de recálculo de 500 m y 1000 m, los mapas de gradientes y los generados durante la modelación 3D.

La interpretación gravimétrica se realizó de forma cualitativa y cuantitativa. Durante la interpretación cualitativa se describieron cada unos de los mapas gravimétricos y se compararon con la información geológica disponible, con el objetivo de aclarar la naturaleza geológica de las anomalías observadas en los mismos.

Luego de realizada la interpretación cualitativa de los mapas de anomalías de Bouguer, CAA y de relieve sombreado se realizó la interpretación cuantitativa, a través de la modelación 3D de los datos gravimétricos.

2.2 Principios teóricos y métodos utilizados.

El método gravimétrico constituye uno de los métodos de investigación de la estructura geológica de la corteza terrestre, orientado a la búsqueda y exploración de yacimientos minerales fundamentalmente (Mironov, 1977).

El mismo está basado físicamente en la Ley de Gravitación Universal de Newton (Dobrin, 1961; Mironov, 1977; Delgado, 1985), donde plantea que sobre cualquier punto de la tierra existe la atracción terrestre, pero en muchos puntos esta no es igual, lo cual depende de la estructura geológica y la composición presente en estos puntos. Dos partículas materiales m_1

y m_2, separadas a una distancia r una de otra se atraen entre si con una fuerza que es directamente proporcional al producto m_1 m_2 e inversamente proporcional al r^2.

La composición y estructura de la corteza terrestre determinan que la fuerza de atracción sea diferente en diversas partes de la tierra (Dobrin, 1961). Esto está motivado por una distribución desigual de la densidad provocando fuerzas de atracción diferente proporcionales a la masa del cuerpo.

Por eso que al estudiar el campo gravitatorio se revelan desviaciones en su distribución normal que constituyen las anomalías gravitacionales las cuales están relacionadas con los cuerpos geológicos, estructuras, etc, de esta manera se puede estudiar el medio geológico en función de las mediciones de la gravedad (Dobrin, 1961; Mironov,1977; Delgado, 1985).

En el campo gravitatorio tienen lugar las influencias de distribución no homogéneas de densidades en la corteza terrestre, las cuales se manifiestan distintamente según su cercanías a la superficie, así como su tamaño y posición (Mironov, 1977).

Los cuerpos de grandes dimensiones, a grandes profundidades producen grandes anomalías en amplitud y área, con variaciones lentas verticales y horizontales. Contrariamente, los cuerpos de pequeñas dimensiones pueden producir anomalías de gran amplitud pero de pequeña área, con gradientes que denotan gran rapidez en la variación del campo (Delgado, 1985) (Figura 8).

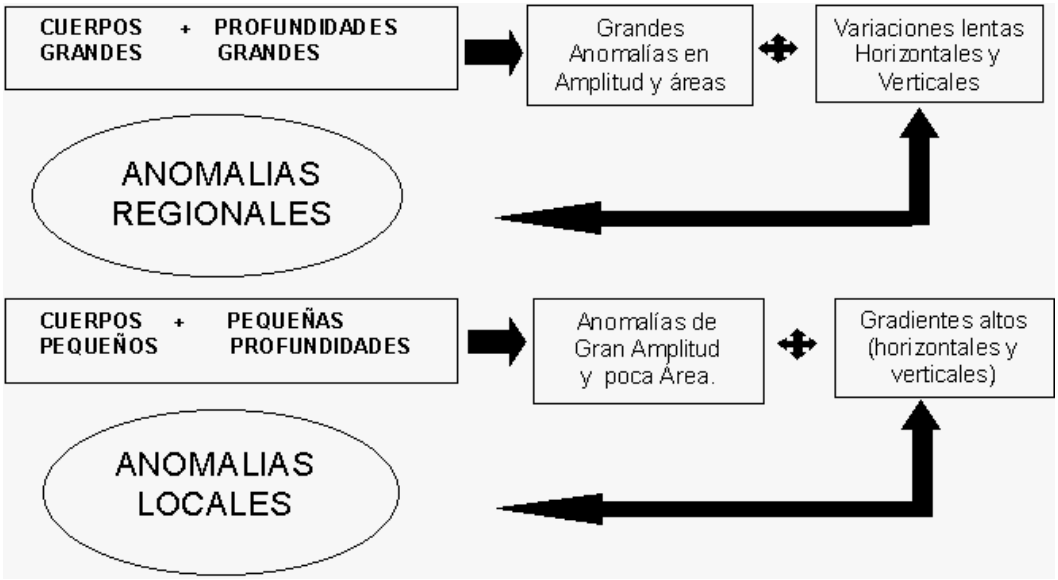


Figura 8. Esquema de relación entre tamaño y profundidad del cuerpo con el tipo de anomalía gravimétrica que este genera.

El efecto regional causado por grandes masas situadas a grandes profundidades, está generalmente asociado a heterogeneidades de las rocas subyacentes; en este caso las anomalías locales pueden estar unidas a las heterogeneidades de las rocas sedimentarias (Delgado, 1985)

Al resolver problemas geológicos concretos, en el campo gravitatorio total hay que destacar las anomalías que respondan a los distintos objetos que nos interesan en cuestión. Es por esto, que las anomalías iniciales se transforman de manera que se resalten peculiaridades del campo y se atenúen o eliminen otros. Dentro de estas transformaciones se realizan las Continuaciones Analíticas Ascendentes (CAA) (Mironov, 1977), que fueron empleadas en el presente trabajo.

La esencia de este método consiste en la separación de las anomalías de la gravedad en su CAA. Consiste en que, con el aumento de las alturas de recálculo de los cuerpos generadores de las anomalías, estas disminuyen de diferentes manera según la profundidad y dimensiones de dichos cuerpos, para resaltar así componentes regionales (Cuevas y otros, 1995; Batista,1998; Blanco y otros, 2000; Casas y otros, 2002; Chernicoff y Zappettini, 2003), la misma se calcula a varios niveles por encima de la superficie y para este procedimiento se empleó el Software IMAG -PC1 versión 1.2 (COPEXTEL, 1993).

Otro aspecto importante es el referido al gradiente gravitatorio. Que no es más que la proporción de variación, con la distancia horizontal de la componente vertical de la gravedad. En un plano vertical dado, el gradiente es sencillamente la pendiente del perfil gravitatorio a lo largo del trazo de este plano en la superficie (Dobrin, 1961).

En el caso de una función de dos variables (x e y en el plano horizontal) la mejor manera de representar el gradiente es como la pendiente en una superficie 3D (mapa de relieve sombreado) (Días y otros, 1987; Cuevas y otros, 1995; Batista, 1998; Blanco y otros, 2000).

Finalmente la representación de los resultados se realizó a través de mapas gravimétrico de isolíneas y colores para lo cual se empleó el Software Surfer® 8.01. Para la realización de los mismos se tuvieron en cuenta los parámetros siguientes: la escala, el intervalo entre isolíneas, etc.

También se realizaron mapas de relieve sombreado para representar los mapas de gradiente, siendo esta la mejor manera para su representación, sobre los cuales se permiten utilizar las técnicas de procesamiento de imágenes durante la interpretación de estos datos (iluminación artificial - mapa de relieve sombreado) (Días y otros, 1987; Cuevas y otros,

1995; Batista, 1998; Blanco y otros, 2000). La representación se hizo empleando mapas porque facilitan el proceso posterior de interpretación cualitativa.

2.3 Características petrofisicas.

El estudio de las propiedades físicas de las rocas y minerales es importante durante el desarrollo de las investigaciones geológicas y geofísicas, ya que permite valorar el complejo de métodos geofísicos a utilizar, además aportan elementos en el procesamiento e interpretación de los datos geofísicos y permiten establecer y caracterizar determinadas regularidades geológicas presentes en la región de estudio.

En este trabajo se tomaron en cuenta las propiedades petrofísicas planteadas durante levantamientos del CAME III (Iturralde-Vinent y otros, 1986) de la zona de Camagüey, debido a la similitud entre esta zona y la región de estudio. Por analogías se asume para la interpretación de los datos gravimétricos del levantamiento realizado por el CAME III.

Dentro de los límites de la región de estudio, se han realizado varios trabajos geólogo-geofísicos, sin embargo no todos cuentan con un estudio consecuente de las propiedades físicas de los diferentes complejos y formaciones rocosas que componen la misma; exceptuando los últimos levantamientos del CAME III (Iturralde-Vinent y otros, 1986). Los que poseen un estudio riguroso en este sentido y por lo tanto constituyen la base fundamental en la que se apoyó esta investigación (Tabla 1). Las rocas presentes en el área investigada han sido agrupadas en diferentes complejos sedimentarios, intrusivo, vulcanógeno-sedimentario, ofiolítico, entre otros.

Complejo Intrusivo.

Estas rocas son bastante frecuentes en esta región y se extienden a través de un cinturón central que la atraviesa en dirección del eje de la isla, además de otros cuerpos distribuidos indistintamente por toda el área del Arco Volcánico Cretácico, según los levantamientos del CAME III (Iturralde-Vinent y otros, 1986).

Los complejos más densos dentro de estas litologías lo van a constituir los intrusivos ácidos, debido a su composición, aunque no existe gran variación con relación a los restantes complejos.

Tabla 1: Densidades de los principales tipos de rocas de la región investigada (Iturralde-Vinen y otros, 1986).

Complejo	**Densidad media (g/cm^3)**
Intrusivo	
Complejo granodiorítico	2.64
Complejo plagiogranítico	2.62
Complejo gabrosienítico	2.63
Media	2.60
Complejo efusivo- sedimentarias	
Formación Caobilla.	2.56
Formación Lavas La Sierra	2.52
Formación Piragua	2.52
Formación Camujiro	2.59
Complejo de rocas sedimentarias	
Formación Durán.	2.37-2.42
Formación Jimaguayú	2.40
Secuencias del Margen Continental	
Rocas terrígenas y carbonatadas	2.60-2.65
Dolomitas densas	2.75

Rocas del complejo efusivo- sedimentarias del Arco Volcánico Cretácico.

Estas rocas constituyen el mayor porciento del área aflorada del Arco Volcánico Cretácico en esta región centro oriental de Cuba y están agrupadas en la actualidad en formaciones, de acuerdo a su composición, edad y características de las mismas (Iturralde-Vinent y otros, 1986) y presentan las siguientes características petrográficas:

Formación Caobilla (Iturralde, 1978).

Esta formación abunda fundamentalmente en la parte Norte de la región y en la zona de Ciego de Ávila, presenta valores medios de densidad media de 2.56 g/cm^3 y está compuesta fundamentalmente por tobas, xenotobas, lavas, xenolavas, y dacitas, todas de composición andesito-dacítica.

Formación Lavas La Sierra.

Esta formación es muy escasa en la zona y sol ocupa pequeñas porciones de áreas en distintos sectores; es una formación prácticamente efusiva y de composición ácida. Presenta una densidad media de 2.52 g/cm^3.

Formación Piragua

Es una formación efusivo-sedimentaria de composición media-ácida, y está bastante distribuida en el territorio; presenta valores medios de densidad en el orden de 2.52 g/cm^3 y está compuesta fundamentalmente por areniscas, gravelitas, tobas, tufitas, lavas dacitas y calizas, donde se destacan las calizas con densidad de 2.62 g/cm^3, lavas con 2.59 g/cm^3 y dacitas con 2.57 g/cm^3.

Formación Camujiro

Es una formación efusivo-sedimentaria bastante distribuida en el territorio, compuesta en lo fundamental por material efusivo y efusivo-sedimentario de carácter muy grosero y de composición media en general, presenta valores medios de densidad de 2.59 g/cm^3, donde se distinguen las andesitas y las dacitas con valores medios de densidades de 2.58 g/cm^3 y 2.59 g/cm^3 respectivamente y además de estas, la componen también xenolavas, xenotobas, lavas y tobas.

En el territorio existen otras formaciones efusivo-sedimentarias, de composición más bien andesito-basáltica, con los siguientes valores medios de densidades.

1. Andesitas: 2.75 g/cm^3
2. Basaltos: 2.83 g/cm^3
3. Tobas: 2.70 g/cm^3
4. Aleurolitas tufogéniccas: 2.69 g/cm^3
5. Lavas aglomeradas: 2.58 g/cm^3
6. Lava andesitica: 2.76 g/cm^3
7. Porfirita andesito-basaltica: 2.76 g/cm^3
8. Porfirita andesitica: 2.70 g/cm^3

Complejo de rocas sedimentarias.

Las rocas sedimentarias tienen una distribución de densidades medias como sigue:

Aleurolitas: 2.31 g/cm^3

Areniscas: 2.35 g/cm^3

Arcillas: 2.04 g/cm^3

Brechas polimícticas: 2.33 g/cm^3

Calizas: 2.46 g/cm^3

Margas: 2.12 g/cm^3

La distribución media por formaciones la haremos de forma ascendente a partir del Cretácico Superior al Inferior.

Formación Durán (Iturralde-Vinent y otros, 1981):

Esta formación está distribuida en todo el territorio, su composición fundamental es conglomerática y no posee potentes espesores reconocidos; de la misma forma no se tienen muestras con resultados petrográficos sin embargo se le estima una densidad media en un rango de 2.37 a 2.42 g/cm^3.

Formación Jimaguayú (Iturralde-Vinent y otros, 1981):

Es una formación del Cretácico tardío y yace concordantemente a la anterior, su corte lo compone fundamentalmente calizas y margas, algunos datos de densidad sobre esta formación arrojan un valor medio de 2.4 g/cm^3.

Finalmente mencionamos algunos datos de densidades medias recopilados sobre las rocas del Margen Continental:

Rocas Terrígenas y Carbonatadas: 2.60-2.65 g/cm^3

Dolomitas densas: 2.75 g/cm^3

Las rocas de la Asociación Ofiolítica están representadas por el complejo de peridotitas con densidad media de 2.43 g/cm^3 y las rocas serpentinizadas que son las que tienen mayor distribución con densidades medias de 2.42 g/cm^3.

Los mayores valores de densidad se manifiestan en las rocas del complejo de granitoides, mientras que los menores se manifiestan en las siguientes litologías pertenecientes a los sedimentos generados en la colisión Mesozoico-Terciaria.

Lo que permite inferir que las mayores anomalías positivas del campo gravimétrico relacionadas con zonas de exceso de masa se deben a la presencia de granitoides. Mientras que las zonas con los menores valores de las anomalías negativas están relacionadas con zonas de defectos de masa deben estar presentes las rocas sedimentarias.

En como resultado de este capítulo se obtendrán en esta investigación mapa gravimétrico de anomalías de Bouguer observadas, recuperado digitalmente. Los que serán la base para todo el procesamiento de la información de la región de estudio.

CAPITULO III. INTERPRETACIÓN DE DATOS GRAVIMÉTRICOS Y DEL MODELO 3D DEL NORTE DE LA CUENCA CENTRAL.

3.1 Interpretación cualitativa.

3.1.1 Interpretación del mapa de Δg.

3.1.2 Interpretación de los mapas de CAA del campo gavimétrico.

3.1.3 Interpretación de los mapas de gradiente.

3.2 Interpretación cuantitativa preeliminar.

3.1.2Interpretación de los modelos calculados y los mapas de espesores y potencias de las capas.

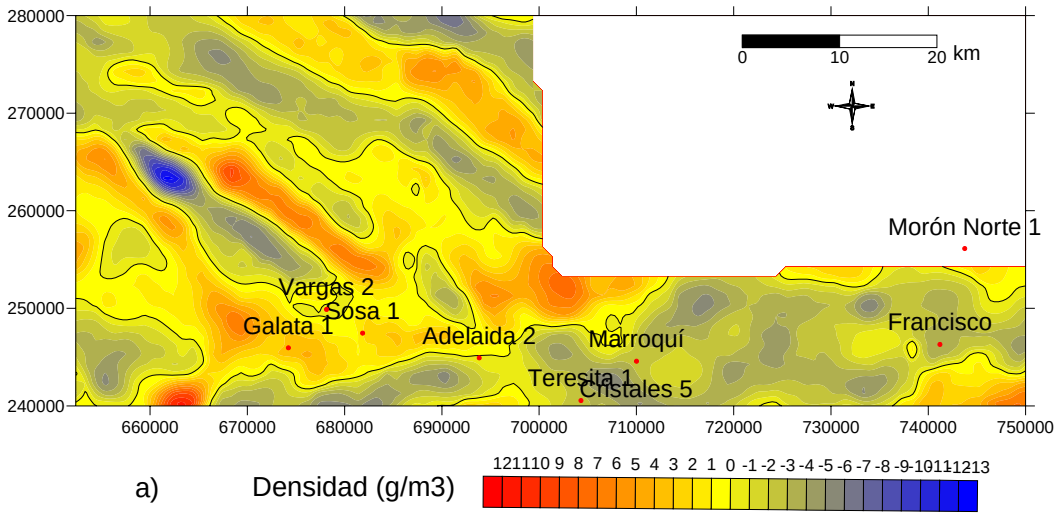
3.1 Interpretación cualitativa.

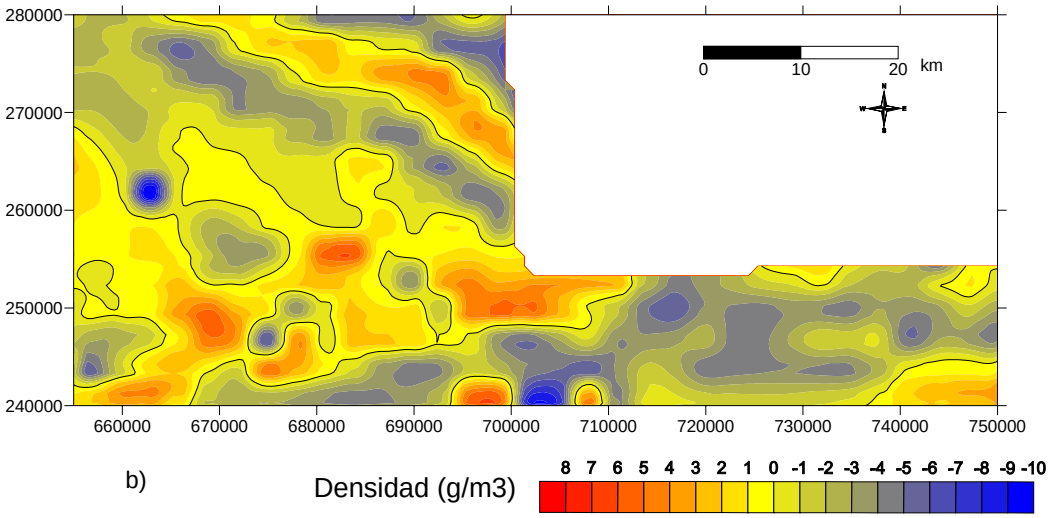
Para la interpretación gravimétrica se tuvieron en cuenta la constitución geológica de la región en superficie y profundidad y las propiedades de densidad de las rocas.

3.1.1 Interpretación del mapa de Δg.

En el mapa de distribución de las anomalías de Bouguer (Δg) (Figura 9a) se observa que los valores del campo gravimétrico varían entre -13 mGal y 12 mGal, el cual se caracteriza por presentar alternancias entre los valores positivos y negativos del campo gravimétrico. En la porción sur-oriental predominan fundamentalmente los valores negativos y en la sur-occidental los valores positivos.

Las mayores intensidades del campo gravimétrico negativo (superiores a –10 mGal), se aprecian en el centro-occidental del mapa de Δg. Por otra parte existen zonas donde predominan los valores positivos del campo gravimétrico (superiores a 10 mGal), localizadas al suroeste y de igual manera en la porción centro-occidental. Generalmente las zonas de cambio de signo del campo presentan altos gradientes, lo que indica que el contacto entre los objetos geológicos con valores de densidades positivos y negativos, es abrupto. Muchas de estas zonas se presentan en forma alargada en una dirección determinada, indicando la posible existencia de estructuras disyuntivas.





Leyenda

● Pozos de perforación

Figura 9. a) Mapa de anomalías de Bouguer. b) Modelo calculado.

La porción sur-occidental, donde predominan fundamentalmente los valores negativos, como se había mencionado, presenta valores anómalos negativos que varían hasta los –6 mGal, representado una franja con dirección noreste–suroeste. El límite norte de la parte de esta franja, está marcado por un cambio en la densidad del campo gravimétrico, el cual está alineado en dirección noroeste-suroeste con gradientes relativamente altos en casi toda su extensión. Al norte de la misma se observa una franja con características complejas, orientada en esa misma dirección. En esta franja se destacan sectores que presentan intensidades del campo gravimétrico positivo que oscilan alrededor de los 9 mGal, aunque más al suroeste se presentan sectores que llegan a los 12 mGal, lo que sugiere que la misma es producida por un cuerpo geológico con una composición y forma muy diferente al resto de los que causan la aparición de las demás anomalías. El comportamiento de anomalías positivas es regular dentro de esta franja, con la excepción de una anomalía negativa localizada en la parte central de esta franja, la cual posee una intensidad de hasta –5 mGal.

Al sureste de esta porción, sur-oriental, de igual forma se puede apreciar un cambio brusco de densidad de campo gravimétrico, alineado en la dirección este-oeste con gradiente relativamente alto en casi toda su extensión. Por debajo de este límite se observa una zona de gran intensidad en cuanto a los valores de densidad representados en el mapa de Δg, con valores que oscilan alrededor de los 9 mGal.

En la porción noroccidental se puede observar claramente la alternancia de las anomalías de valores positivo y negativos, solo que estas se van a disponer en dirección noroeste-sureste, igualmente se representan en formas de franjas alargadas. Los valores de intensidades del campo gravimétrico positivo varían hasta los 10 mGal y los negativos hasta los –13 mGal. La cual presenta una orientación distinta a las observadas en las áreas descritas anteriormente y altos gradientes dispuestos de igual forma, por lo que se supone que responda a la presencia de una zona de grandes esfuerzos tectónicos, en dirección noreste-suroeste

En la porción noroccidental del mapa de Δg, el comportamiento del campo gravimétrico, se hace más complejo presentando intensidades (superiores a 10 mGal y menores de –13 mGal) delimitadas por altos gradientes. Lo que indica la presencia de una estructura compleja, con cambios litológicos y posibles zonas de dislocaciones tectónicas.

La parte suroriental de la región de estudio está ocupada por valores negativos del campo, donde las isolíneas son más suaves y redondeadas, y los gradientes e intensidades son menos variables con la excepción de la porción más norte y sureste, esta diferenciación en cuanto al comportamiento del campo gravimétrico indica la posible existencia de un cambio litológico.

El mapa gravimétrico adquiere un carácter más complejo hacia el centro y sur-occidental donde se observan zonas de gradientes muy altos y un gran número de anomalías en las cuales se alcanzan altas intensidades. Se localizan anomalías con intensidades superiores a los 10 mGal e inferiores a los –11 mGal, lo que indica la gran heterogeneidad de tales áreas en cuanto a las densidades, demostrando la existencia de alta variabilidad en su estructura y composición.

Se observa un fuerte cambio en el carácter del campo gravimétrico a partir de zonas alineadas en las direcciones noreste–suroeste y noroeste-sureste, lo cual pudiera indicar la existencia de estructuras tectónicas disyuntivas en esas direcciones.

El mapa gravimétrico muestra en la porción sur-oriental una amplia zona con valores negativos del campo gravimétrico, alargada en dirección noreste-suroeste, con intensidades hasta –6 mGal. Esta zona puede estar relacionada con la cuenca tensional desarrollada durante los procesos de convergencia oblicua entre el Arco de Islas Volcánico Cretácico extinto y el palemargen de Bahamas, Cuenca Central (McCaffrey y Nabelek,1998), donde los valores de intensidades negativas se deben a la constitución geológica que presenta esta estructura. Según los registros estratigráficos, las predominantes facies son las terrígeno-arcillosas (Sánchez-Arango, 1977; Millan1986a, 1987b,1989).

El cambio brusco entre las intensidades negativas y positivas del campo gravimétrico, determinando zonas de altos gradiente en dirección NW corrobora la

hipótesis de que esta estructura puede estar delimitada por contactos litológicos entre rocas de diferentes densidades o estructuras tectónicas disyuntivas. Este comportamiento puede sugerir el proceso de formación de esta cuenca, es decir, una falla de deslizamiento por el rumbo de gran magnitud, La Trocha. (Millan, 1987a y 1989; Draper y Barros, 1994; Blanco y Figueras, 1996).

En la parte central se observa una zona anómala de valores positivos del campo gravimétrico en forma circular, con intensidades que llegan hasta los 7 mGal, la cual puede tener su origen debido a la presencia de un cuerpo con alta densidad en profundidad. Teniendo en cuenta que esta zona se corresponde con la parte axial de Arco Cretácico (Iturralde-Vinent, 1998) y las densidades de los complejos presentes en la región de estudio (Iturralde-Vinent y otros, 1986), se puede inducir que las secuencias plegadas y sobrecorridas de este arco sean la causa de esta anomalía.

Al suroeste del área se observa una anomalía positiva que puede corresponderse de igual manera con la que ha originado la anomalía anterior, planteamiento que se puede asumir debido al similar comportamiento del campo gravimétrico.

En la zona centro occidental se observa una anomalía positiva alargada en la dirección noroeste-sureste, esta presenta muy altos valores de intensidad del campo gravimétrico y está delimitada por altos gradientes, lo que posibilita deducir contacto entre litologías con densidades diferentes, que puede ser tectónico, es decir, fallas en la misma dirección que la estructura. Al comparar la información geológica con el mapa de Δg se infirió que las secuencias plegadas y sobrecorridas del paleomargen de Bahamas, pueden ser la causa de esta anomalía. De manera similar pero con valores negativos del campo gravimétrico, se observa una zona anómala contigua a la descrita anteriormente, la que puede tener su origen también en las secuencias plegadas y sobrecorridas del paleomargen de Bahamas solo que estas van a ser rocas terrígeno-carbonatadas.

En la porción noroccidental de la región de estudio se encuentra alternancias de valores positivos y negativos del campo gravimétrico. Este comportamiento y la información geológica superpuesta indican que los valores negativos que aquí se localizan y se disponen en dirección noroeste-sureste, se corresponden con las

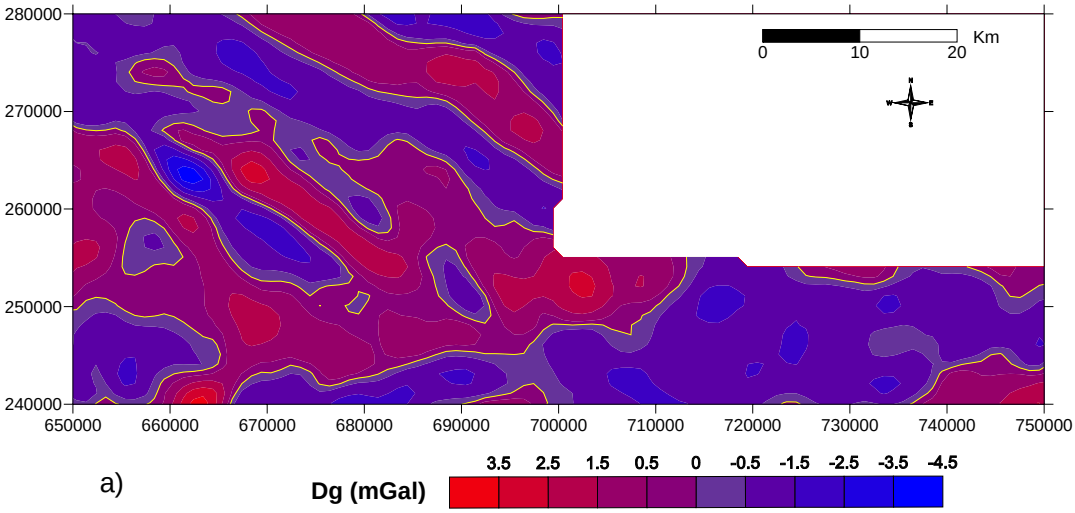
secuencias plagadas durante la colisión oblicua del Arco Volcánico del Cretácico con el paleomargen de Bahamas, terrígeno-carbonatadas mencionadas anteriormente.

Al norte se observan anomalías negativas, las que pueden estar relacionadas con las secuencias cuaternarias desarrolladas al norte de la región, estas se encuentran en contacto con una zona de valores positivos delimitada por altos gradientes, lo que indica la presencia de litologías de gran densidad, estas anomalías pueden estar relacionadas según las características con las secuencias plegadas correspondientes a la plataforma de Bahamas, zona Remedios (Iturralde- Vinent, 1998, Blanco, 1999) constituidas por calizas dolomitizadas, margas, entre otras.

Al suroeste de la zona descrita anteriormente, se alterna nuevamente con un campo de valores negativos del campo gravimétrico, el cual se dispone en la misma dirección y forma. Esta anomalía pueden estar en correspondencia de igual manera con las secuencias plegadas del norte de la región, según muchos autores estas secciones están fuertemente deformadas y sobrecorridas (Iturralde- Vinent, 1998; Meyerhoff y Hatten, 1968, 1974). Estas anomalías se disponen en forma de escamas tectónicas superpuestas que, a menudo, presentan yacencia casi vertical.

3.1.2 Interpretación de los mapas de CAA del campo gravimétrico.

El recálculo del campo gravimétrico en el semiespacio superior se llevó a cabo preliminarmente para varios niveles y se notó que a partir de los 1000 m prácticamente todas las anomalías del campo desaparecían por lo que se decidió escoger dos niveles para describir e interpretar la CAA.: 500 m y 1000 m (Figura 10).



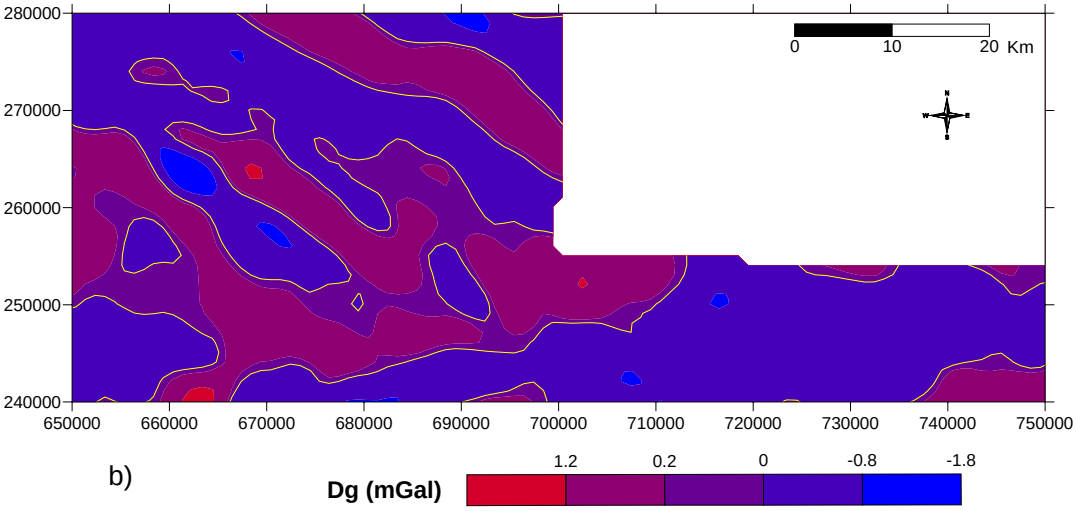


Figura 10. Mapas de continuación analítica ascendente. a) altura de recálculo a 500 m, b) altura de recálculo a 1000 m.

Esta desaparición de las anomalías presentes en el mapa del campo gravimétrico una vez recalculado en los niveles de 500 m y 1000 m denota la presencia de cuerpos relativamente profundos responsables de cuadros anómalos presentes en la región de estudio.

Es por lo anteriormente planteado que a continuación se describen los dos mapas mencionados:

Altura de recálculo a 500 m:

Al llevar a cabo la CAA del campo gravimétrico a nivel de 500 m se obtiene el mapa que se muestra en la Figura 10a en el cual se observan anomalías que están presentes en el mapa de Δg con mayor intensidad y gradiente.

Existen varias anomalías en el mapa de Δg que aquí no se observan lo que indica que las mismas son producidas por cuerpos muy someros. Pero otras continúan manifestándose, por ejemplo las que están ubicadas en el extremo suroeste, centro-occidental, centro y sureste.

Altura de recálculo a 1000 m:

Al realizar la CAA del campo gravimétrico a este nivel se obtiene el mapa que se ilustra en la Figura 10b, el cual también refleja la componente regional de este campo pero en este caso calculada a un nivel superior, por lo que resalta el efecto en el campo gravimétrico de las estructuras o cuerpos geológicos más profundos que los del mapa de CAA anterior.

La anomalía negativa de la parte centro-occidental es la que continúa manifestándose en este mapa con mayor intensidad, también existen otras de signo negativo ubicadas en el norte y sureste, las cuales abarcan un área más pequeña e intensidad algo superior a los –8 mGal.

3.1.3 Interpretación de los mapas de gradiente.

Los mapas de gradiente se representaron a través de mapas de relieve sombreado (Figuras 11 y 12), encima de los cuales se colocó la información geológica y distinguiéndose algunos de los sistemas de fallas reportados.

En estos mapas se observan varias zonas alineadas de altos gradientes que no parecen estar asociadas a ninguna de las estructuras reportadas, las cuales

predominan fundamentalmente al sureste de la región de estudio (Figura 17). Estas poseen gran importancia ya que aportan nuevos elementos sobre la estructura de esta región aún cuando no constituyan estructuras tectónicas. Durante la interpretación cuantitativa serán argumentadas algunas de ellas.

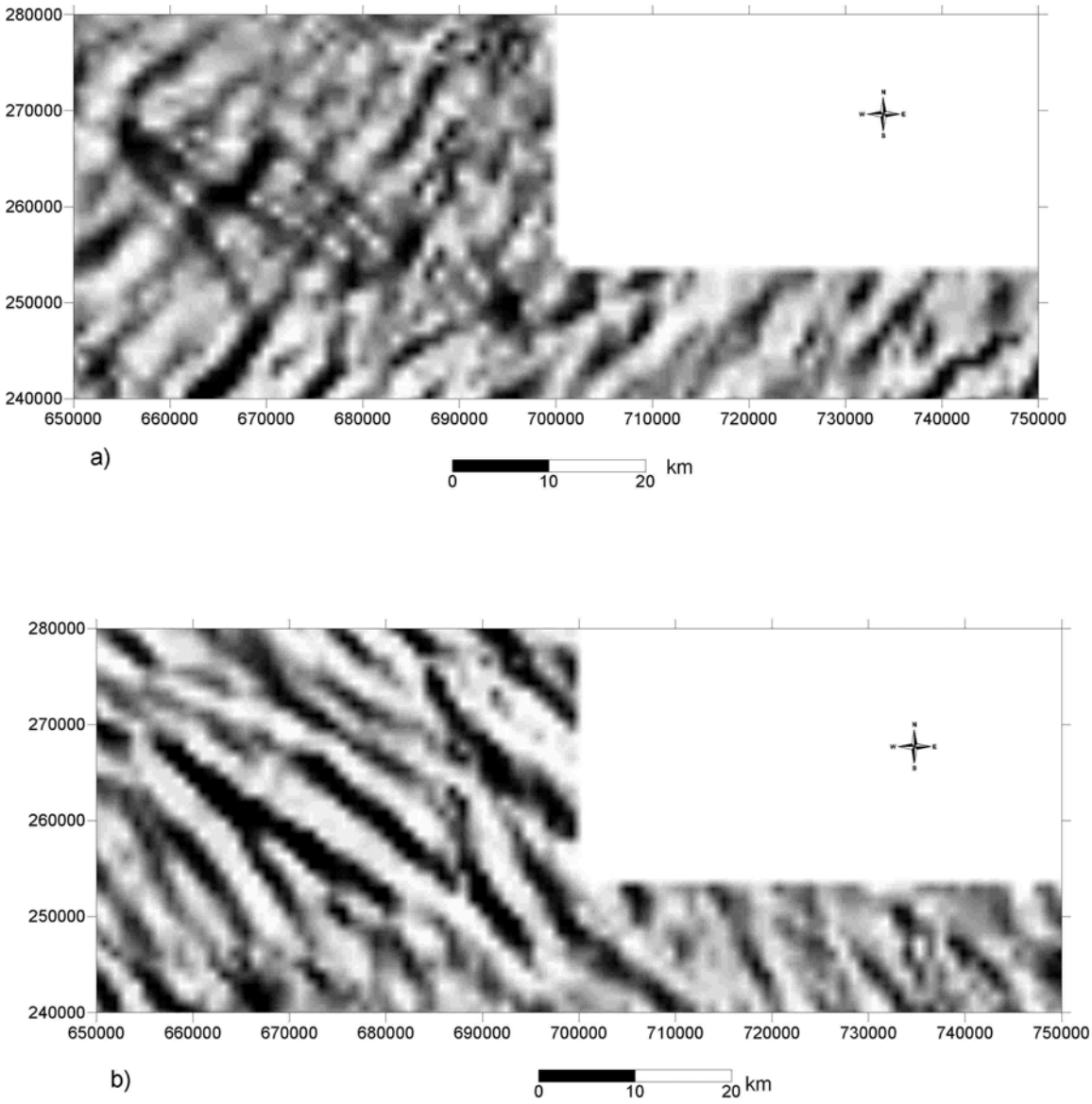
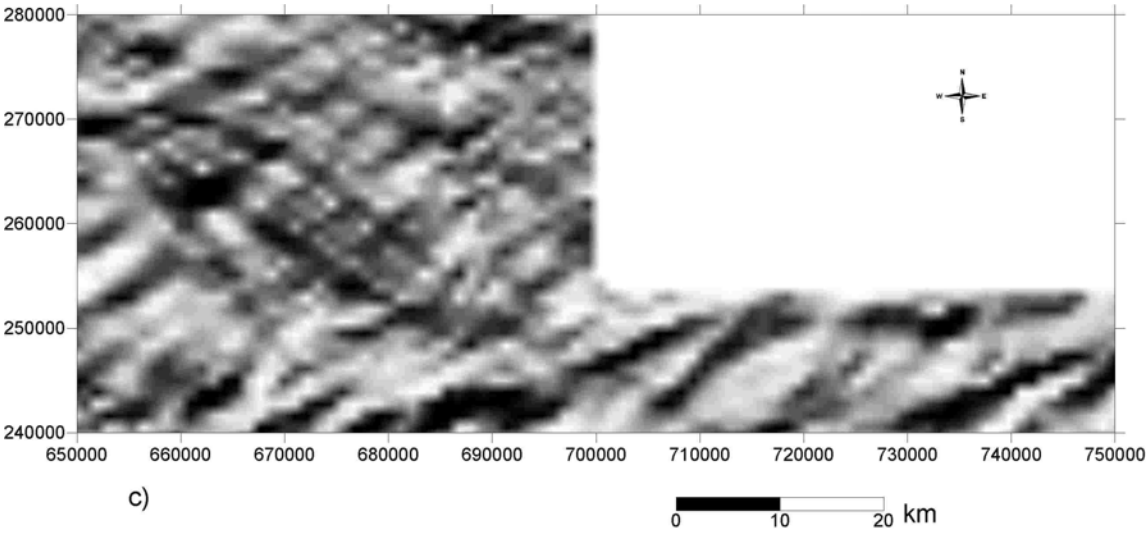


Figura 11. Mapas de relieve sombreado en la dirección de las X. a) ángulo de iluminación desde el NW, b) ángulo de iluminación desde el NE.



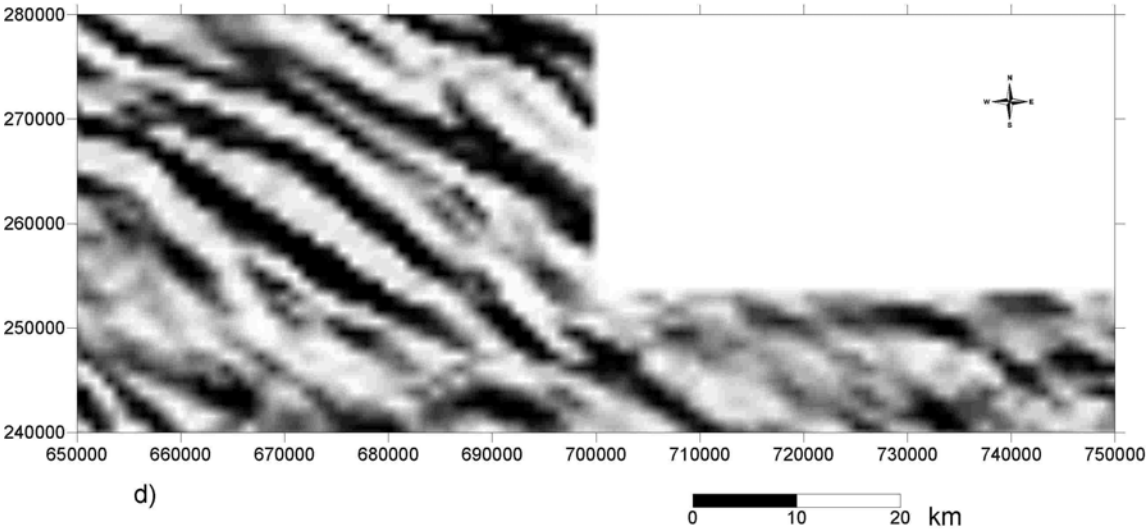


Figura 12. Mapas de relieve sombreado en la dirección de las Y. a) ángulo de iluminación desde el NW, b) ángulo de iluminación desde el NE.

Interpretación de los mapas de relieve sombreado en la dirección x(Δgx).

Con los datos gravimétricos se construyeron mapas de relieve sombreado en la dirección de las X (Figura 11). El mapa obtenido al realizar la iluminación desde el noroeste (Figura 11a), destaca la presencia del sistema de fallas que extienden en dirección noreste-suroeste. En el mismo se evidencian estructuras pequeñas y algunas alineaciones que no responden a sistemas de fallas reportados anteriormente como es el caso de la zona oriental y suroccidental.

Por otro lado se pudo comprobar que la iluminación desde el noreste (Figura 11b) con una inclinación de 45^0 resalta varias alineaciones que reflejan la presencia de los sistemas de fallas de la región, como es el caso de los sistemas La Trocha y Zaza-Tuinicú, aunque se encuentran algunas alineaciones del campo gravimétrico que no corresponden a sistemas de fallas reportados.

En estos mapas se destacan zonas alineadas que no están reportadas como estructuras tectónicas, las cuales aportan nuevos elementos sobre el conocimiento geológico del área ya que pueden constituir contactos litológicos o reflejar la presencia de fallas profundas no reflejadas en superficie.

Interpretación del mapa de relieve sombreado en la dirección de y(Δgy).

Para hacer más precisa esta comparación se construyeron mapas de relieve sombreados en la dirección de las Y (Figura 12), a los cuales se le superpuso la información geológica, para llevar acabo la siguiente interpretación.

La iluminación desde el noroeste y noreste son las más propicias para resaltar las estructuras lineales. Con estos mapas de denota una vez más el reflejo en el campo gravimétrico de los principales sistemas de fallas presentes en la región de estudio.

En el mapa de la figura 12a la iluminación se realiza desde el noroeste. En el se observan alineaciones en los datos gravimétricos que están relacionadas con los sistemas de fallas reportados de la región.

La iluminación desde el noreste (Figura 12b), resalta alineaciones que coinciden con la mayoría de las estructuras lineales que poseen dirección noroeste, las que han sido señaladas en los mapas analizados anteriormente, por este motivo no se presenta ese mapa de relieve.

En esta figura se observan zonas alineadas que no responden a estructuras reportadas en el mapa geológico y que por lo tanto revelan nuevos elementos sobre las características geológicas de la región.

Del análisis de los mapas de relieve se puede concluir que estos destacan alineaciones gravimétricas que pueden indicar la existencia de estructuras disyuntivas, algunas de las cuales coinciden con sistemas de fallas reportados en el mapa geológico.

En estos mapas se muestran zonas alineadas que no coinciden con ninguno de los sistemas de fallas reportados. Muchas de ellas se repiten desde varias direcciones de iluminación indicando la presencia de estructuras en estas zonas que pueden constituir contactos litológicos o tectónicos. Por ese motivo se recomienda tenerlas presente durante las investigaciones geológicas que se realicen en el futuro en la región ya que se considera que algunas de ellas constituyan estructuras tectónicas no reportadas.

3.2 Interpretación cuantitativa preeliminar.

3.1.2Interpretación de los modelos calculados y los mapas de espesores y potencias de las capas.

Atendiendo a las particularidades geológicas de la región de estudio y de los datos gravimétricos, se realiza la interpretación cuantitativa de la modelación 3D obtenida.

Con la inversión tridimensional tomando como constricciones la geología superficial, los datos de los pozos perforados y la información gravimétrica, se obtiene el mapa representado en la figura 9b. En este mapa se observa que las respuestas del campo gravimétrico calculado en el modelo 3D, son similares a las del campo gravimétrico observado (Figura 9a), aunque se observan pequeñas diferencias en cuanto a los mínimos y máximos de intensidades del campo gravimétrico observado y calculado.

En la figura 9b se aprecia al sur una anomalía con valores positivos del campo gravimétrico, la cual presenta forma circular con valores de intensidades mayores de 7 mGal. Más al este también se puede observar otra anomalía positiva del

campo gravimétrico, esta de menor área pero con valores superiores a los 4 mGal. Entre estas dos anomalías positivas se encuentra una zona de valores negativos del campo gravimétrico, esta anomalía llega hasta los –10 mGal.

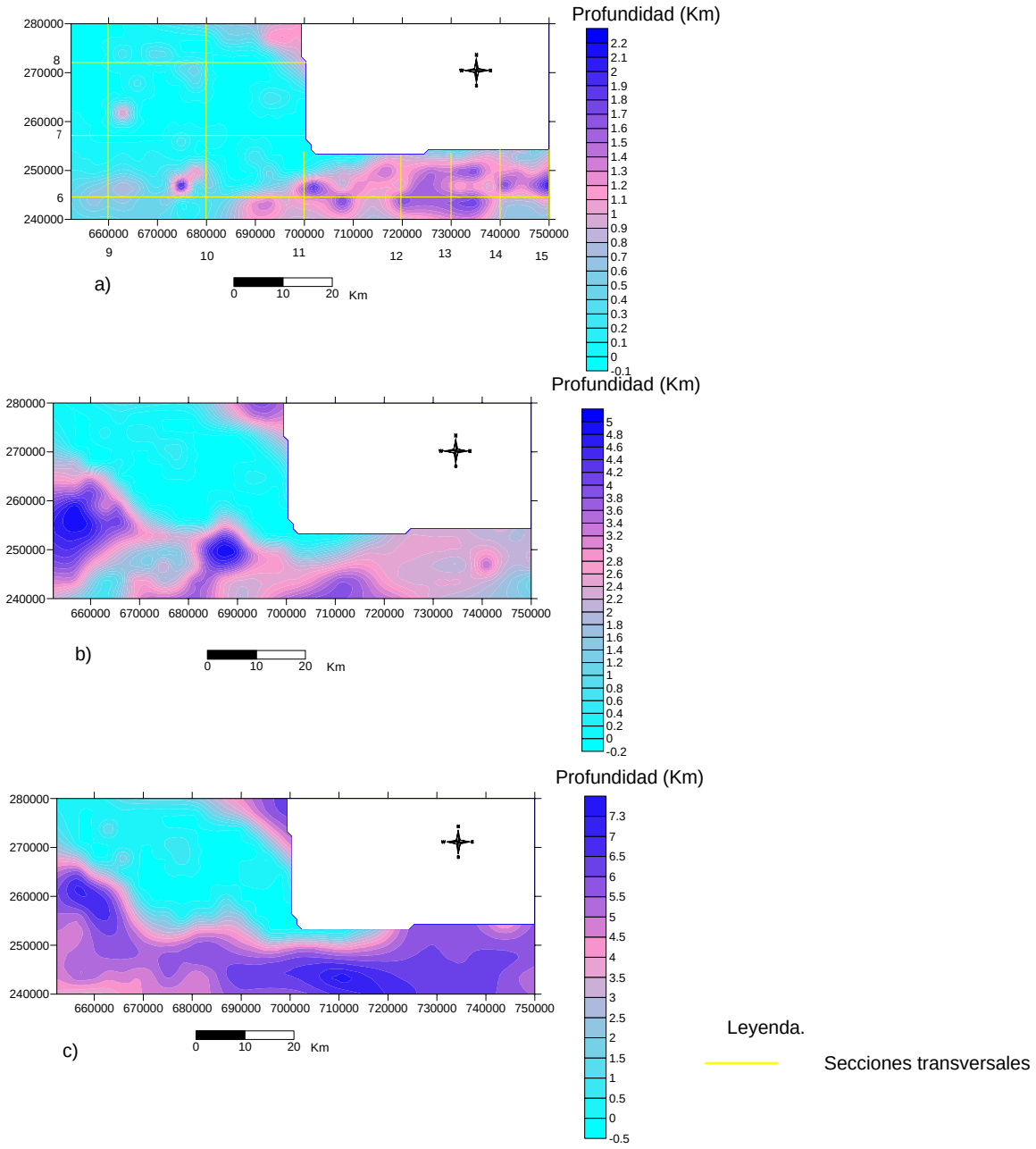


Figura 13. Mapa de profundidades capas. a) Capa 1- Secuencias sedimentarias, b) Capa 2- Secuencias vulcanógenas, c) Capa 3- Intrusivos.

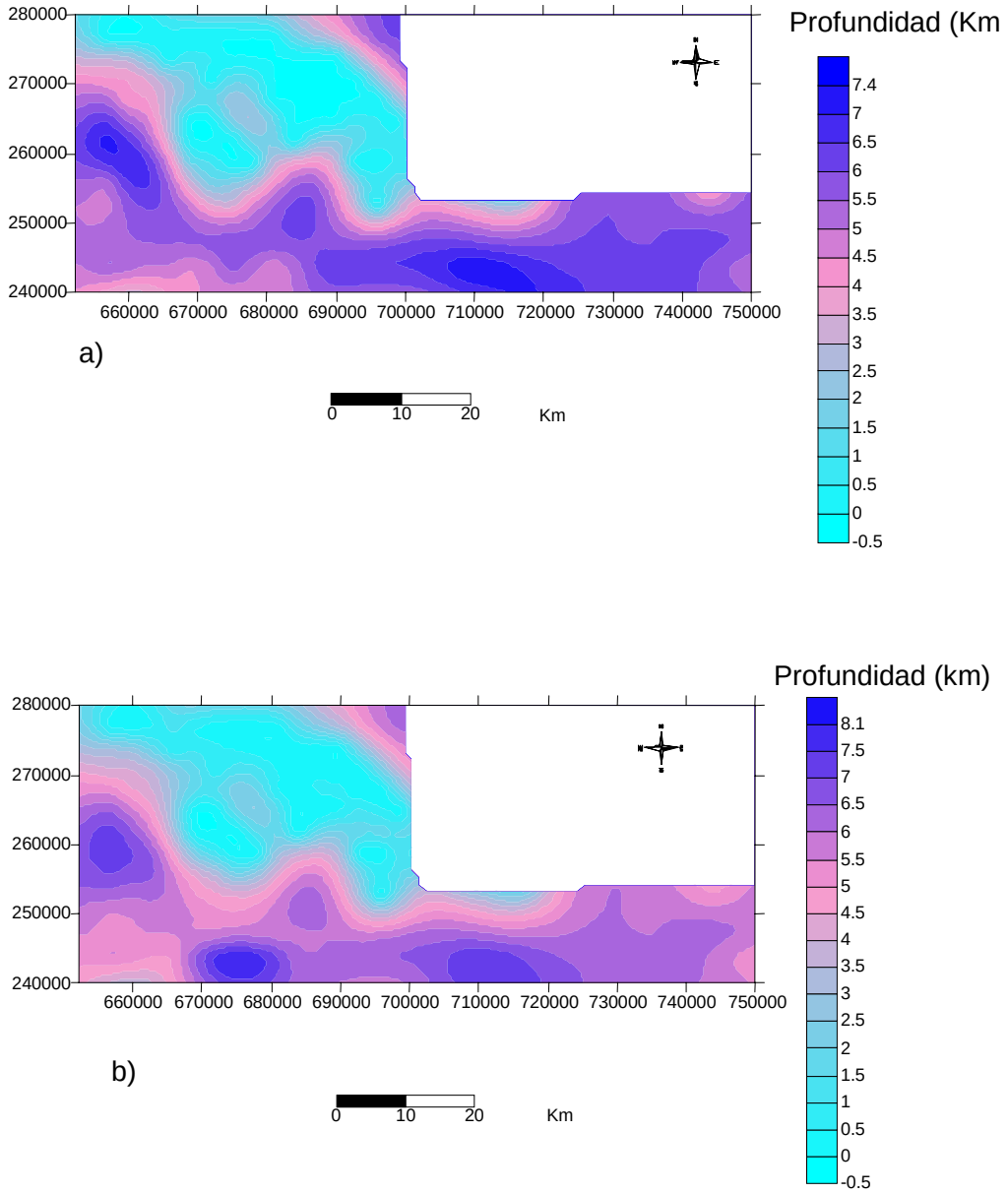


Figura 14. Mapa de profundidades capas. a) Capa 4-Secuencias de la asociación ofiolítica, b) Capa 5- Secuencias del paleomargen.

Luego de haber calculado el modelo 3D se obtuvieron los mapas de profundidades y espesores (Figuras 13 y 14) para cada una de las siguientes capas cobertura sedimentaria (1), las secuencias vulcanógenas sedimentarias pertenecientes al

arco de islas volcánico del Cretácico (2), la presencia de intrusivos (3) de edad Cretácica, litologías de la asociación ofiolítica (4) y secuencias del Paleomargen de Bahamas (5), respectivamente.

La capa 1 (Figura 13a) presenta sus mayores profundidades hacia la parte oriental donde alcanza valores de 2.2 km y al norte. Las menores profundidades de esta capa la podemos encontrar en la poción más occidental.

La capa 2 (Figura 13b) alcanza las mayores profundidades hacia la parte central y más occidental del mapa con potencias de 5 km. En estas zonas sus valores llegan a los 5 km, aunque al E estas litologías presentan profundidades significativas hasta los 4 km.

Las zonas más profundas en la capa 3 (Figura 13c) se encuentran en la porción centro-occidental y sur, esta alcanza profundidades de 7.3 km y con 4.21 km de potencia. Sus valores mínimos se aprecian hacia el noroeste.

La capa 4 (Figura 14a) los menores valores de profundidad se encuentran al noroeste, presenta de igual manera sus mayores espesores en la porción centro-occidental y sur del mapa, en ellas alcanza valores de 7.4 km y espesores de 4.17 km.

La porción sur occidental y centro-occidental, son las que presentan mayores profundidades en la capa 5 (Figura 14b), sus potencias alcanzan los 4.5 km con 8.1 km de profundidad. La misma alcanza sus menores valores hacia la parte noroccidental. Esta capa presenta valores medios de profundidad en la parte más oriental del mapa con valores aproximados de 6.5 km.

De forma general se observa en el extremo oriental, centro-occidental, norte y sur las mayores profundidades de las secuencias representadas, aunque estos parámetros varían para las secuencias sedimentarias que solo son representativos

en la zona oriental y en las secuencias vulcanógenas, que presentan sus mayores profundidades solamente en las zonas centro y centro-occidental. También se destaca una pequeña área al N este parámetros alcanzan altos valores.

Hacia la parte noroccidental, donde se localizan las secuencias plegadas y sobrecorridas del Arco de Islas Volcánico y las zonas Remedios, Camajuaní y Placetas, las capas alcanzan los menores valores de profundidades y espesores, característica que corrobora que esta es la zona más elevada de la región. Las secuencias sedimentarias en esta zona poseen profundidades cero debido a que estas afloran en la estructura.

El continuo levantamiento provocado durante la colisión del arco de islas con la plataforma de Bahamas provocó deformaciones en las rocas situadas al frente del cabalgamiento, dejando al descubierto estas secuencias plegadas de forma continua con características petrofísicas muy diferentes producto a sus ambientes de sedimentación y las transformaciones ocurridas en ellas durante el proceso orogénico, además provocó una erosión de las partes superiores del corte geológico, y con ello un adelgazamiento del espesor de las capas conformadas por rocas sedimentarias, principales responsables de las anomalías gravimétrica negativas. Esto ha permitido un mayor acercamiento a la superficie del basamento, el cual se refleja en los valores positivos del campo gravimétrico.

La superposición de la información tectónica a los mapas de profundidades de los diferentes niveles litológicos muestra una relación directa entre la estructura geológicas presentes en la región y los sistemas de fallas reportados, sobre todo de aquellos que delimitan la zona de las secuencias plegadas, con direcciones NW-SE, E-W y NE-SW.

Para lograr una mejor caracterización tridimensional de la estructura de la región, se trazaron 10 secciones transversales en las diferentes capas, 7 con dirección S-N y 3 con dirección W-E. De ellas solo se analizan en el texto y se muestran gráficamente 5 (Figuras 15 y 16), aunque en el esquema de interpretación final y en las propias conclusiones del análisis de este sector se tienen en cuenta todas las secciones.

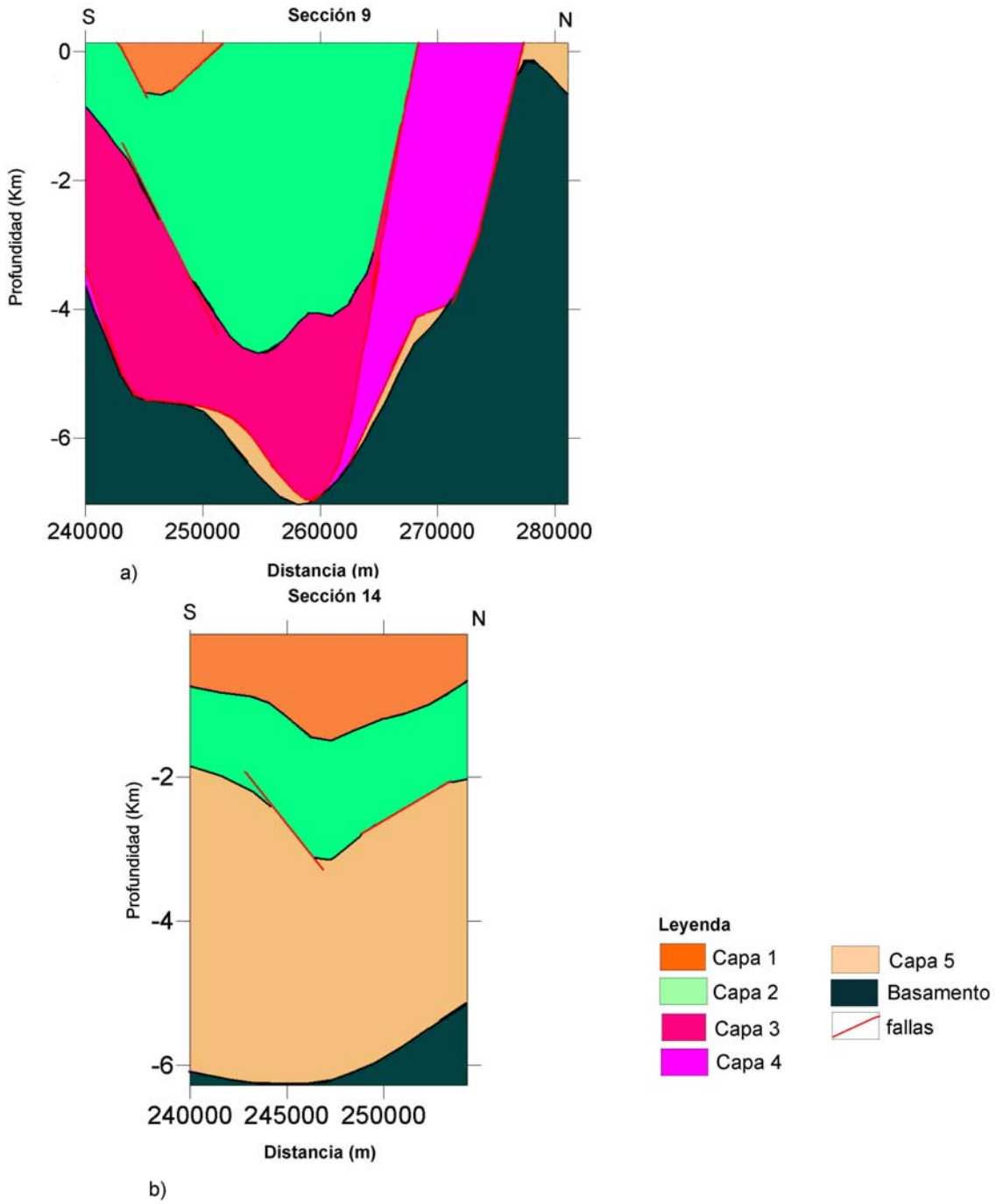


Figura 15. Secciones transversales en dirección S-N. a) sección transversal 9, b) sección transversal 14: Capa 1- Secuencias sedimentarias, Capa 2- Secuencias vulcanógenas, Capa 3- Intrusivos, Capa 4-Secuencias de la asociación ofiolítica, Capa 5- Secuencias del paleomargen.

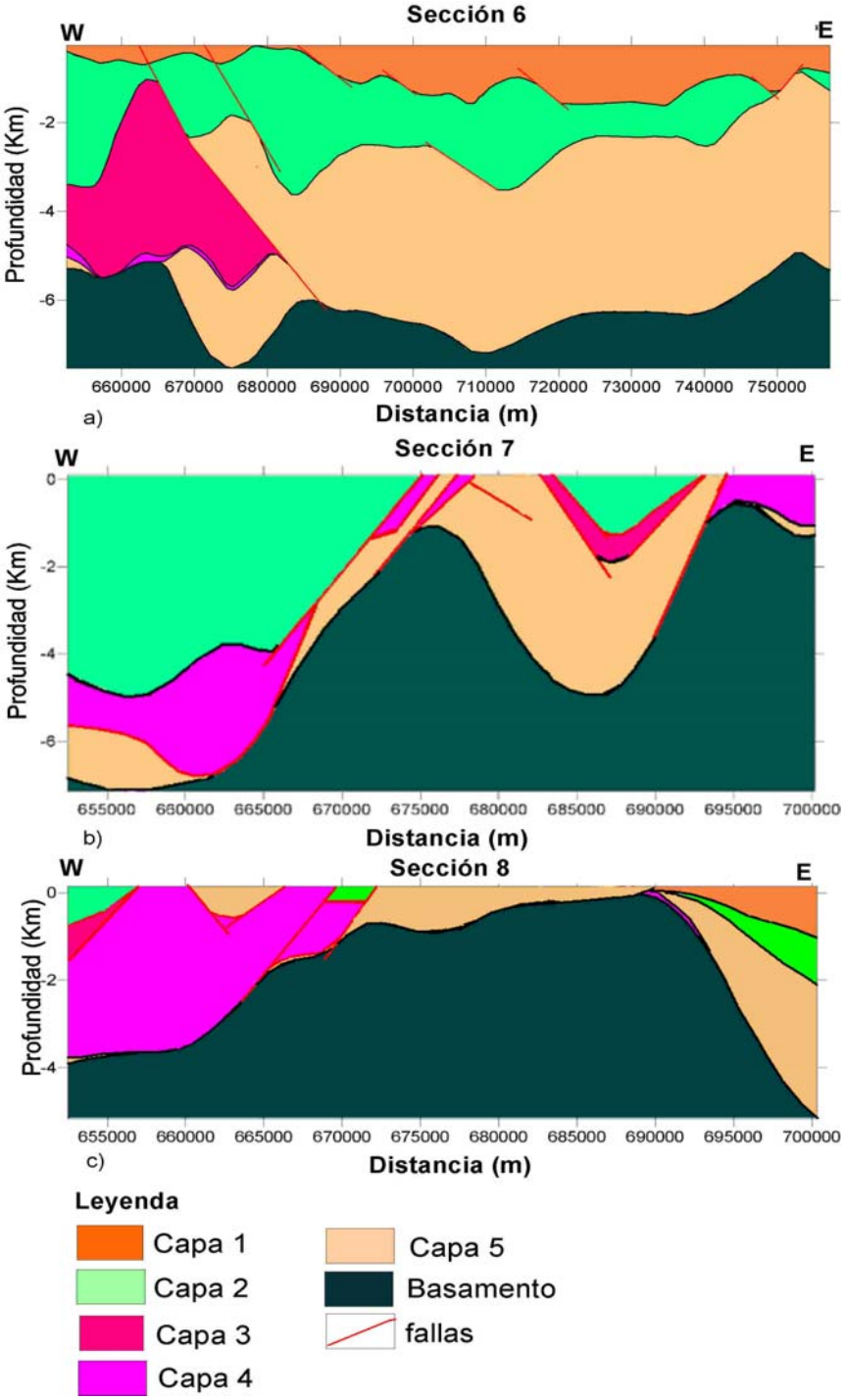


Figura 16. Secciones transversales en dirección W-E. a) sección transversal 6, b) sección transversal 7, c) sección transversal 8: Capa 1- Secuencias sedimentarias, Capa 2- Secuencias vulcanógenas, Capa 3- Intrusivos, Capa 4-Secuencias de la asociación ofiolítica, Capa 5- Secuencias del paleomargen.

Secciones transversales de dirección S-N (Figura 15).

Sección 9: da una visión más completa sobre los aspectos señalados en las secciones ubicadas transversales a ella. También se muestran mejor la estructura de los contactos entre capas afectados por diferentes sistemas de fallas, señalando una vez más la gran complejidad tectónica de esta zona (Figura 15a). Se observan con mayor claridad los sistemas de fallas responsables del ascenso de las ofiolitas, localizadas en el centro de la sección. En este mismo extremo S la capa de rocas sedimentarias alcanza hasta 0.5 km de profundidad. Al N, se observa con claridad las estructuras plegadas y sobrecorridas, donde afloran las secuencias del paleomargen.

Sección 14: a todo lo largo de esta sección se muestra el afloramiento de rocas sedimentarias, las que alcanzan espesores de 1.5 km a los 1.5 km de profundidad (Figura 15b). Por debajo de estas litologías se encuentran, extendiéndose de igual manera, las secuencias volcánicas con 1 km de espesor a los 2.5 km. Subyaciendo estas capas se pueden observar las secuencias del paleomargen de las Bahamas, las que alcanzan profundidades de 6.15 km con espesores de 4 km. Se observa con claridad los sistemas de fallas no reportado hasta el momento en dirección NE-SW.

Secciones transversales de dirección W-E (Figura 16).

Sección 6: a todo largo de esta sección solo afloran rocas sedimentarias, las cuales muestran un espesor superior a 1.7 km en parte central y oriental (Figura 16a). Por debajo de estas están los volcánicos, luego los cuerpos intrusivos, las ofiolitas, las rocas del paleomargen y el basamento metamórfico. Donde los primeros alcanzan cerca de 2.5 km de potencia a una profundidad de 3.8 km, mientras que los intrusivos, llegan hasta los 7.3 km de profundidad, las ofiolitas presentan pequeñas potencias y se pueden encontrar hasta los 5 km solo en la porción más occidental, al igual que las rocas del paleomargen que presentan muy pocas potencias hasta los 5 km de profundidad. La discontinuidad de estas dos últimas capas hacia el E y la caída del gradiente de la profundidad, sostienen la idea de sistemas de fractura en forma de bloque al W.

Sección 7: el extremo W de esta sección comienza con el afloramiento de roca de las secuencias del arco de islas volcánico con un espesor hasta 4.5 km. Hacia el E afloran las litologías de la asociación ofiolítica, debajo de la cuál se observan pocos espesores de las secuencias del paleomargen de la Bahamas (Figura 16b). En la parte central de esta sección van a aflorar rocas de la asociación ofiolítica en forma de escamas alternadas con rocas del paleomargen y más al E secuencias del arco de islas volcánico. En esta sección se observan características de zonas de fallas, coincidiendo con estructuras reportadas y otras supuestas.

Sección 8: esta muestra una forma diferente a las secciones anteriores por el hecho de poseer la capa de la secuencia ofiolítica aflorando en su extremo W, las secuencias del paleomargen en la parte central de dicha sección y consecutivamente las secuencias sedimentarias, lo cual hace que muestre mejor las estructuras en forma de escamas tectónicas originada durante el proceso de colisión ente el arco de isla y la plataforma y con ello la yacencia de las capas que la componen (Figura 16c). En esta sección se observan mayores irregularidades relacionadas con sistemas de fallas. Al E las rocas sedimentarias se extienden hasta 1.5 km de profundidad. Al W la capa de las rocas de la asociación ofiolítica aumentan su espesor hasta los 3.8 km.

Luego del análisis de las secciones transversales (mostrada o no) y los mapas de profundidades y espesores de las diferentes capas se puede llegar a las conclusiones siguientes: Las profundidades y espesores de las rocas sedimentarias aumentan hacia el SE, crecen menos hacia la parte NW y SW y las mismas localizan sus menores espesores y profundidades en la parte alta de las secuencias plegadas de la región noroccidental. De ahí el comportamiento de intensidades negativas del campo gravimétrico en el sector suroriental, lo cual obedece a la existencia de grandes espesores de rocas poco densas por encima de la capas de secuencias vulcanógenas y potentes secuencias terrígeno-carbonatadas del paleomargen de Bahamas.

De forma general en las secciones transversales de dirección S-N se reflejan mejor las heterogeneidades tectónicas y geométricas de este sector, es decir, en esta dirección se observan las mayores heterogeneidades geológicas del sector.

Este resultado constituye un elemento más a considerar sobre la dirección de emplazamiento de las rocas del Arco de Islas Volcánico del Cretácico, más la corteza ofiolítica que cabalga sobre las secuencias terrígeno-carbonatadas y carbonatadas del antiguo margen continental de las Bahamas, de S a N (Meyerhoff y Hatten, 1974; Draper y Barros, 1994; Iturralde-Vinent, 1996).

Las estructuras de los contactos laterales entre las capas rocas sedimentarias – volcánicos, secuencias del paleomargen - ofiolítas, ofiolítas – volcánicos y volcánicos - intrusivos está relacionada con los principales sistemas de fallas reportados, indicando que la tectónica afecta a todos los tipos litológicos presentes.

Es notable la relación existente entre las fallas mapeadas por trabajos anteriores en el área, con fallas obtenidas en el modelo 3D, lo cual corrobora los modelos geológico que se tenían. Esta relación da una idea más clara del comportamiento en profundidad de las mismas. Es de señalar que se obtuvieron en el perfil 6 un sistema de falla normal, con dirección NE-SW, las cuales no estaban reportadas. Estas pudieran guardar relación y a la vez ayudar a explicar el comportamiento de los bloques al sur de esta área, así como la génesis, forma y evolución de la cuenca durante todo el Cenozoico.

Con el modelo geólogo-geofísico 3D de la porción norte de la Cuenca Central se recogen las profundidades y espesores de las litologías presentes en la misma, corroborando algunas de las teorías planteadas sobre los procesos y fenómenos geológicos originados en la región (Iturralde-Vinent,1998; Blanco,1999). Además, se muestra una panorámica general de las características de las estructuras existentes y de otras no reportadas hasta el momento.

En la figura 17 se muestran los principales resultados de esta interpretación, la cual se apoya fundamentalmente, en las secciones transversales y los mapas de profundidades y espesores, donde se representan las zonas de fallas propuestas, así como las zonas de mayores y menores profundidades para cada una de las capas analizadas, los límites de la Cuenca Central y de la porción del cinturón plegado presente en el área de estudio.

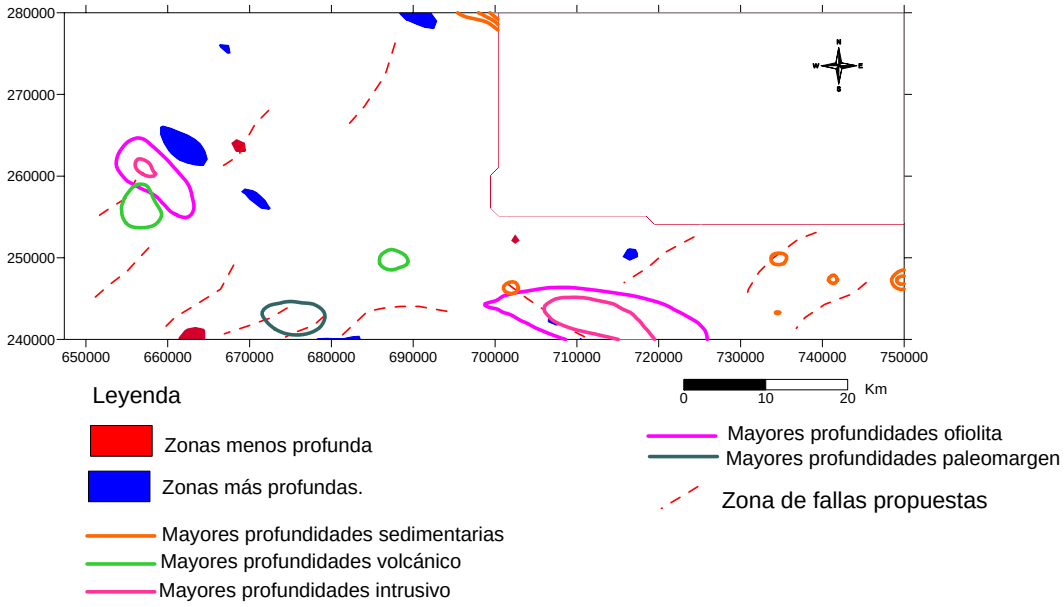


Figura 17: Modelo propuesto.

A modo de conclusión podemos decir que: El modelo 3D permitió corroborar la existencia de las fallas mapeadas en superficie en trabajos anteriores con una mayor exactitud y su comportamiento en profundidad. Se determinaron además sistemas de fallas con dirección NE-SW las cuales no habían sido reportadas en trabajos anteriores, las que su origen pudieran estar dadas por evolución de la Cuenca Central durante todo el Cenozoico. Las secciones transversales de dirección S-N reflejan mejor las heterogeneidades tectónicas y geométricas del sector, lo que permite considerar sobre la dirección de emplazamiento de las rocas del Arco de Islas Volcánico del Cretácico, más la corteza ofiolítica que cabalga sobre las secuencias terrígeno-carbonatadas y carbonatadas del antiguo margen continental de las Bahamas, de S a N. Las profundidades y espesores de las rocas sedimentarias aumentan hacia el SE, decrecen hacia la parte NW y SW. Los menores espesores y profundidades se localizan en la parte alta de las secuencias plegadas. En el sector suroriental, existen grandes espesores de rocas poco densas por encima de las secuencias vulcanógenas, y terrígeno-carbonatadas del

paleomargen de Bahamas las cuales son potentes. Se obtuvo en el perfil 6 un sistema de falla normal, con dirección NE-SW, las cuales no estaban reportadas. Estas pudieran guardar relación y a la vez ayudar a explicar el comportamiento de los bloques al sur de esta área, así como la génesis, forma y evolución de la cuenca durante todo el Cenozoico

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Los elementos aportados durante la interpretación, permiten sugerir aspectos relacionados con la dirección de emplazamiento de las rocas del Arco de Islas Volcánico del Cretácico, más la corteza ofiolítica que cabalga sobre las secuencias terrígeno-carbonatadas y carbonatadas del antiguo margen continental de las Bahamas, de S a N.

2. Se definió con el modelo calculado zonas anómalas al sur de la región de estudio que no fueron reveladas durante los trabajos de levantamiento gravimétrico y fueron confirmadas a través de las secciones transversales.

3. Se confirmó en profundidad la existencia de fallas normales en forma de bloques con dirección NE-SW, las limitan al noreste la Cuenca Central lo cual explica el desarrollo estructural del emigaben formado durante la evolución de la cuenca en el Cenozoico.

4. Existen sistemas de fallas orientados en dirección NE-SW no reportados hasta el momento, relacionados posiblemente con la actividad tectónica ocasionada durante la evolución de la cuenca en el Cenozoico.

Recomendaciones.

1. Se recomienda que este trabajo sea empleado en investigaciones destinadas a la búsqueda y prospección de yacimientos minerales, ya que aporta nuevos elementos relacionados con la estructura de la región de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ALVAREZ-CASTRO J.1994, Evaluación del potencial de exploración del bloque #21. Región noreste de la cuenca central,. CUPET,. Majagua, (inédito).
2. BANDT, K. M. 1958. Geología la zona de Jatibonico. Inédito. (Ofic. Nac. De Rec. Minerales) (O.N.R.M.).
3. BATISTA RODRIGUEZ J. A. 2000, Metodología para la recuperación de la matriz digital de las observaciones de un levantamiento geofísico., Revista Geología Minería, Vol. 17, Nro 2.
4. BATISTA RODRÍGUEZ J. A. 1998, Características geológicas y estructurales de la región de Moa a partir de la interpretación del levantamiento aeromagnético 1:50 000, ISMM, La Habana, Tesis de maestría.
5. BATISTA RODRÍGUEZ J. A. Y PEREZ FLORES M. A., 2005, 1ra Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Inversión 3d de datos aeromagnéticos en las áreas de la franja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba Oriental), SCG, La Habana, Cuba, pp 63.
6. BLANCO J. FGUERAS M.1996, Yacimiento Reforma, Reporte Técnico, (inédito), Fondo UPET, Majagua, Ciego de Avila.
7. BLANCO MORENO J. A. 1999, Estratigrafía y paleogeografía de las cuencas superpuestas de Cuba Centro Oriental., ISMM, Cuba, Grado Académico Doctor en Ciencias, pp 136.
8. BLANCO MORENO J. A., BATISTA RODRIGUEZ J. A., RIVERON ZALDIVAR B., 2000, Estructura de la cuenca de antepaís en la zona de sutura de la región Esmeralda-Minas, provincia de Camagüey según datos gravimétricos., Libro de resúmenes, Geofísica 2000, I Congreso Cubano de Geofísica, Edición Sociedad Cubana de Geología, Cuba, p. 61.
9. CHERNICOFF C. J., ZAPPETTINI E. O. 2003, Delimitación de los terrenos tectonoestratigráficos de la región centro-austral Argentina: evidencias aeromagnéticas. http://www.scielo.cl , Revista Geológica de Chile, Vol. 30, No. 2, p. 299-316, 5 Figs., 1 tabla, 6/4/2005.
10. CORDELL, L. AND KNEPPER, D. H. 1987 Aeromagnetic images: Fresh insight to the buried basament, Rolla quadrangle, southeast Missouri. Geophysics, 52, 218-231
11. CUEVAS J., OJEDA LAZARO L., DIAZ LARRINAGA A., POLO GONZALEZ B. 2001, V Congreso de Geología y Minería, La Habana, Cuba, Regionalización gravimétrica en el caribe Centro Occidental: nuevos mapas de anomalías de Bouguer a escala 1: 500 000, Geofísica, Gf.17.
12. CUEVAS OJEDA J. L., GARCIA PEREZ F., PACHECO M., GONZALEZ DESPAINE D., RAMIREZ RAMIREZ R. 1995, Determinación de estructuras tectónicas y disyuntivas utilizando técnicas de procesamiento de imágenes y de gradiente total normalizado a partir de datos gravimétricos de Cuba Central, Revista Geofísica Internacional, Vol. 34, Nro 1, pp 93-105.
13. DELGADO R. 1985, Garavimetría, Editorial Científico Técnica, La Habana, pp 322.

14. DIAZ DUQUE J. A., AZZE A., DIAZ O., CASAREAL V. 1987, Utilización del gradiente total normal de la gravedad en el estudio de la estructura profunda de la provincia de Pinar del Río., Revista Geología Minería, Cuba, Vol. 5, Nro3.
15. DOBRIN M. B. 1961, Introducción a la prospección geofísica, Ediciones Omega, Barcelona, pp 483.
16. DRAPER G.,Y BARROS J A. 1994 Cuba. En Caribbean Geology an introduction, Donovan, S. K.; Jackson, T .A., Jamaica, 65-86.
17. FURRAZOLA BERMÚDEZ G., DÍAZ OTERO C., ROJAS CONSUEGRA R., GARCÍA DELGADO D. 2000, Generalización bioestratigráfica de las formaciones volcanosedimentarias del arco volcánico cretácico y su cobertura, en Cuba Central. IV Congreso de Geología y Minería, geología del petróleo y otros portadores energéticos, MEMORIAS GEOMIN 2001, La Habana, 19-23 de marzo. ISBN 959-7117-10-X ESPASE- 40.
18. GALLARDO-D., L.A., M.A. PÉREZ-FLORES, AND E. GÓMEZ-TREVIÑO 2003, A versatile algorithm for joint 3-D inversion of gravity and magnetic data, *Geophysics*, 68(3), 1-11.
19. GARCIA D., 1986, Paleógeno de Cuba, unidades en el nuevo mapa geológico de Cuba, 1: 500 000 (primera parte),Serie geológica. 2 .31-54.
20. GARCIA G., UGALDE C., STRAZHEVICH V., ROSA A., PANTALEON G. TRIFF J. 1998, Mapa geológico de las provincias Centrales, Ministerio de la Industria Básica, Edición digital por el grupo ASIG-IGP.
21. GÓMEZ GARCÍA R. R. Y PROL BETANCOURT J. L. 2000, Regionalización de los campos potenciales en el sector Pina-Cristales-Jatibonico para la búsqueda de zonas perspectivas para la prospección petrolera. IV Congreso de Geología y Minería ,Geología del petróleo y otros portadores energéticos, MEMORIAS GEOMIN 2001, La Habana, 19-23 de marzo. ISBN 959-7117-10-X GPEOPE - 112
22. GOMEZ GARCÍA R., PROL BETANCOURT J. G., RIFA HERNANDEZ M. 2001, V Congreso de Geología y Minería, La Habana, Cuba, Alineaciones del campo gravimétrico en el golfo de México y su relación con la tectónica profunda.
23. GUERRA R., 1996, Estudio tectono-estratigráfico del Sector La Rosa, Trabajo de diploma,. ISMM. 65.Moa.
24. HATTEN C., SCHOOLER O., GIEDT N., MEYERHOFF A. 1958, Geology of Central Cuba, eastern Las Villas and western Camagüey provinces, (inédito), Fondo geológico del Ministerio de la Industria Básica, La Habana.
25. HATTEN, C. W. 1958. Geology of Central Cuba (east Las Villas-west Camagüey).Inédito. (O.N.R.M.).
26. HORN, B. K. P. Y BACHMAN, B. L., 1978,Using synthetic images to register real images with surface models. Comm. of the ACM, 21, 914-924.
27. INSUA AREVALO J. M., MARTIN GONZALEZ F., CAPOTE R., MARTINEZ DIAZ J. J. 2004, Análisis tectónico de los mapas de anomalías gravimétricas de la cuenca de Málaga, Cordillera Bética Occidental, Boletín Geológico y Minero, Vol. 115, Nro 3, pp 521-536.
28. IPATENKO S. 1963, Informe sobre las investigaciones magnetométrica gravimétricas en Camagüey. Empresa Nacional de Geofísica. Cuba.

29. ITURRALDE-VINENT M. 1986, Informe final sobre los resultados del levantamiento geológico complejo y las búsquedas acompañantes a escala 1:50 000 en el polígono CAME III, Camagüey. (inédito). Fondo geológico Nacional, La Habana, pp 1500.
30. ITURRALDE-VINENT M. Y MAcPHEE R.D.E., 1998, III Congreso Cubano de Geología y Minería. Paleogeography of the caribbean region: Implications for cenozoic biogeography. SCG, La Habana, Cuba. pp 322.
31. ITURRALDE-VINENT M.1996, Introduction Cuban Geologic and Geophysics, En: Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba, Iturralde- Vinent, M . (ed) Miami. Florida. 83-120.
32. ITURRALDE-VINET M., 1978, Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platafórmico de Cuba. Geologie en Mijnbow,57(2), 205-212.
33. ITURRALDE-VINET M., 1998, Sinopsis de la cnstitución geológica de Cuba. Acta Geológica Hispánica. Vol 33, No 14, pp9.
34. ITURRALDE-VINET M., TCHOUNEV D., CABRERA R., 1981, Geología del territorio Ciego- Camagüey-Las Tunas: Resultados de las investigaciones científicas y del levantamiento geológico escala 1:250 000. Academia de Ciencias de Cuba y Bulgaria, Oficina de Minerales, 1500 pp.
35. LÉXICO ESTRATIGRAFICO DE CUBA.1988, Instituto Cubano de Geología y Paleontología, La Habana.
36. LINARES E. 1978, posibilidades gasopetroliferas del horst Jatibonico-Rubio-Cometa, yacimiento Catalina en la depresión central cubana, Trabajo de diploma, ICT, ISMM, Moa, 178p.
37. MacPHEE R.D.E.; ITURRALDE-VINENT M. A.;EUGENE S. GAFFNEY 1998, Domo de Zaza, an Early Miocene Vertebrate Locality in South-Central Cuba, with Notes on the Tectonic Evolution of Puerto Rico and the Mona Passage, http://www.bioone.org, 25/3/2005.
38. McCAFFERY R. Y NABELEK J., 1998, Role of oblique convergence in the active deformation of the Himalaya and Southern Tibet platau. Geology. Pp 691-693.
39. MEYERHOFF A. HATTEN C. 1974, Bahamas salient of North America, Tectonic framework, stratigraphy and petroleum potential, AAPG Bull, 58(6), 1201-1239.
40. MEYERHOFF A.Y HATTEN C. 1968, Diapiric structure in central Cuban, AAPG, Memoir, 8.315-357.
41. MILLAN G. 1989, Análisis formacional de cuenca central de Cuba, Revista Tecnológica, 1.
42. MILLAN G.1986, Estratigrafía del área Catalina, Cueca Central de Cuba, basado en datos del subsuelo, Serie Geológica, 1 .18-30.
43. MILLAN G.1987a, Análisis, Generalización y evaluación de las posibilidades gasopetrolíferas de la cuenca central y elaboración de recomendaciones sobre los trabajos de prospección geológica, CUPET, Majagua, (inédito),.37 p.
44. MILLAN G.1987b, Caracterización de las facies colectores y sellos, y su distribución areal para los depósitos Cretácico- Paleógenos de la cuenca central de Cuba, (inédito), Fondo, UPET, Majagua, Ciego de Ávila, (inédito), 215p.

45. MIRONOV V. S. 1977, Curso de prospección gravimétrica, Editorial Reverté, Barcelona, 525 pp.
46. Pairazian, V. 1975, Estudio de los petróleos, gases, aguas y bitúmenes de los depósitos mesozoicos de la República de Cuba y su plataforma (no publicado) CNFG. Cuba.
47. PEREZ FLORES M. A.; BATISTA RODRÍGUEZ J. A.; SUAREZ VIDAL F.; ESPINOSA CÁRDENA J. M.; GALLARDO J. A., 2005, 1ra Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Inversión tridimensional de los datos aerogravimétricos de la cuenca de Ojos Negros, México. SCG, La Habana, Cuba, pp 24.
48. PINTO V., CASAS A., RIVERO L., LAZARO R. 2002, Modelización gravimétrica 3D de diapiros de Cordona, Cuenca del Ebro(NE de España), Acta Geológica Hispánica, Vol. 37, Nro 4, pp 273-284.
49. PIÑEIRO, E. 1990, Informe sobre los resultados del levantamiento geológico complejo 1:50 000 y sus búsquedas acompañantes del polígono, CAME III, Camagüey, Sectores, Ciego de Avila, Vertientes, Empresa Geológica de Camagüey, (inédito).
50. RAJADEL CLAVERO G. J. 1995, Estratrigrafía y posisbilidades gasopetrolíferas de las cuencas Central y Cabaiguán. ISMM, Moa, Trabajo de diploma.
51. RAWLINSON A.P. 1998, Geological well report Violeta1, Bolck 21, Ciego de Avila, Premier Oil, London,47.
52. RIVERO L., VILAS M., PINTO V., CASAS A. 2001, Modelización gravimétrica 2D de la fosa de I´Empordá (NE de la Península Ibérica), Acta Geológica Hispánica, Vol. 36, Nro 1-2, pp 97-113.
53. RODRIGUEZ D. 1996, Generalización tectono-estratigráficas del Yacimiento Pina, (inédito), CICT, ISMM, Moa, 50 p.
54. RODRIGUEZ M. J., PROL L. 1980, Informe sobre el levantamiento gravimétrico detallado del área Mayajigua-Morón. Empresa Nacional de Geofísica,Cuba.
55. RODRIGUEZ M., DOMINGUEZ R. 1993, Informe sobre los resultados del levantamiento gravimétrico en Jatibonico-Pina-Esmeralda. Empresa Nacional de Geofísica. Cuba.
56. RODRÍGUEZ M; DOMÍNGUEZ R. 1993: informe sobre los resultados del levantamiento gravimétrico en Jatibonico-Pina-Esmeralda. Empresa Nacional de Geofísica.
57. SANCHEZ – ARANGO J. 1977, Estudio bioestratigráfico del pozo Catalina #5, Mineria en Cuba, 3(4). 15-26.
58. SCHOTT R. Y JONSON C. 1998, Sedimentary record of the late cretaceus thrusting and collapse of the Salina – Mojave magmatic arc. Geology, 26(4),327-330.
59. SEGURA R. 1988, La extinción de la actividad del arco volcánico del Cretácico en la cuenca central de Cuba, Revista Tecnológica, 18(3), 25-29.
60. THIADENS A. A. 1937. Geology of the southern of Sta. Clara (Las Villas), Cuba. Geogr. Geol. Meded., Utrecht. Phys. Geol. Reeks., V.11, 69 p.

61. WALLACE M. 1956 Geology reporton the Francisco area of the Trans-Cuban concession sothern Camagüey province, Cuba,(no publicado), Fondo geológico Camagüey.

RELACION DE MATERIALES GRAFICOS

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica.

Figura 2 Mapa geológico de las provincias centrales a escala 1:100 000.

Figura 3. Columna generalizada de la Cuenca Central.

Figura 4. Formación Guayos, pozo Catalina 6.

Figura 5. Formación Eloisa, pozo Pina Norte.

Figura 6. Formación Catalina, pozo Cristales 63.

Figura 7. Formación Taguasco, pozo Catalina 6.

Figura 8. Esquema de relación entre tamaño y profundidad del cuerpo con el tipo de anomalía gravimétrica que este genera.

Figura 9. a) Mapa de anomalías de Bouguer. b) Modelo calculado.

Figura 10. Mapas de continuación analítica ascendente. a) altura de recálculo a 500 m, b) altura de recálculo a 1000 m.

Figura 11. Mapas de relieve sombreado en la dirección de las X. a)ángulo de iluminación desde el NW, b) ángulo de iluminación desde el NE.

Figura 12. Mapas de relieve sombreado en la dirección de las Y. a) ángulo de iluminación desde el NW, b) ángulo de iluminación desde el NE.

Figura 13. Mapa de profundidades de las capas. a) Capa 1- Secuencias sedimentarias, b) Capa 2- Secuencias vulcanógenas, c) Capa 3- Intrusivos.

Figura 14. Mapa de profundidades capas. a) Capa 4-Secuencias de la asociación ofiolítica, b) Capa 5- Secuencias del paleomargen.

Figura 15. Secciones transversales en dirección S-N. a) sección transversal 9, b) sección transversal 14: Capa 1- Secuencias sedimentarias, Capa 2- Secuencias vulcanógenas, Capa 3- Intrusivos, Capa 4-Secuencias de la asociación ofiolítica, Capa 5- Secuencias del paleomargen.

Figura 16. Secciones transversales en dirección W-E. a) sección transversal 6, b) sección transversal 7, c) sección transversal 8: Capa 1- Secuencias sedimentarias, Capa 2- Secuencias vulcanógenas, Capa 3- Intrusivos, Capa 4-Secuencias de la asociación ofiolítica, Capa 5- Secuencias del paleomargen.

Figura 17: Modelo propuesto.

RELACION DE TABLAS.

Tabla 1: Densidades de los principales tipos de rocas de la región investigada (Iturralde-Vinen y otros, 1986).