

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR



**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Geólogo

**Título: Modelación 3D de datos Gravimétricos de la parte sur de
la Cuenca Central.**

Autor: Yanquiel Martínez Martínez

Tutores: Dr. Jesús Antonio Blanco Moreno

Dr. José Alberto Batista Rodríguez

Moa. Julio de 2005

“Año de la Alternativa Bolivariana para Las Américas”

	Pág
ÍNDICE	
Índice.....	1
Introducción.....	2
Capítulo I Características Físico Geográficas y Geológicas Generales.....	8
1.1. Introducción.....	8
1.2. Características físico – geográficas.....	8
1.3. Características geológicas de la región de estudio.....	11
Capítulo II Metodología y Volumen de los Trabajos Proyectados.....	28
2.1. Introducción.....	28
2.2. Principios teóricos y métodos de análisis.....	28
2.3. Criterios fundamentales de la interpretación geológica de las anomalías de la gravedad.....	32
2.4. Etapas de desarrollo de los trabajos.....	33
2.5. Características petrofísicas.....	39
Capítulo III. Representación e Interpretación de los Resultados.....	44
3.1. Introducción.....	44
3.2. Interpretación cualitativa.....	44
3.3. Interpretación cuantitativa.....	56
Conclusiones.....	70
Recomendaciones.....	71
Referencias Bibliográficas.....	69
Anexos.....	79

AGRDECIMIENTOS

A dios nuestro señor todopoderoso.

A la Revolución Cubana por permitirme formarme como un profesional capaz.

A mi abuela, mi papá y mi familia por todo su esfuerzo para que pudiera terminar mi carrera., A mis amigos y compañeros de grupo, especialmente al “Equipo A” por haber compartido conmigo buenos y malos momentos y estar dispuestos a ayudarme cuando lo he necesitado. A Lyn, Jared y Jais ann por estar dispuestos a brindarme apoyo en cada momento, al igual que Anika que sin su ayuda no hubiese podido terminar la tesis a tiempo.

A mis amigos Terina, Karina y Raúl por el afecto con que me han tratado.

A mis tutores que me enseñaron a que uno debe esforzarse por lo que quiere, pues otro no esforzará por ti, además por sus señalamientos y sugerencias.

A todos los profesores de la carrera por haber brindado lo mejor de sí.

A todo aquel que de alguna forma me ayudó en algún momento de mi vida durante los cinco años de estudiante.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo hecho con todo mi esfuerzo y sacrificio a las personas que más han anhelado verme realizado, personas que tengo bien cerca en el corazón, personas que estuvieron, están y estarán conmigo en los peores y mejores momentos: mi abuela querida,, mi papá, mis hermanos, mi mamá y todo mi familia.

FRASE

“En el reino de los cielos no hay grandeza que conquistar, puesto que allá todo es jerarquía establecida, imposibilidad de sacrificio, estado de reposo, deleite, existir sin término. Por ello, agobiado de penas y tareas, capaz de amar en medio de plagas y enfermedades, hermoso dentro de su miseria, el hombre solo alcanza su grandeza, su máxima medida, en el Reino de este Mundo”.

Alejo

Carpentier

PENSAMIENTO

“Quien ilumine con intensidad como el sol de cada día... Quien a todos haga el bien y dé felicidad... Su luz no se apagará, más por siempre brillará”.

Yanquiel

Martínez

Martínez

RESUMEN.

La presente investigación se titula “**Modelación 3D de datos gravimétricos de la parte sur de la Cuenca central**”. Esta tiene el objetivo de *establecer las particularidades espacio – estructurales de las secuencias rocosas del sector sur de la Cuenca Central a partir de la modelación 3D de datos gravimétricos*. Aquí se llevó a cabo la recuperación de una matriz digital obtenida a través de un levantamiento gravimétrico a escala 1: 100 000 realizado en el sector de estudio. Esta matriz fue sometida a diferentes transformaciones del campo, a partir de lo cual se obtuvieron mapas de Continuaciones Analíticas Ascendentes (CAA), gradientes horizontales, mapas de profundidad y espesores de las capas, así como la confección de varias secciones transversales realizadas sobre los mapas de profundidades y espesores de las capas.

El procesamiento de la información y la realización de los mapas se efectuó mediante la utilización de software tales como: Surfer® versión 8.01 – may 9 2002 (Surface Mapping System, Copyright©1993- 2002, Golden Software, Inc), AutoCad Map® 2000 de Autodesk, Inc., Microsoft Excel, DXF2XYZ 1.3 de Guthrie CAD/GIS Software del 2000, Microsoft Word, IMAG-PC versión 1.2, 1993, Geosoft (Geosoft Inc, 1992). De esta manera se lograron los siguientes resultados:

Las particularidades de la disposición espacial y estructural de las rocas del substrato en el sector de estudio y la determinación de los sectores de mayores profundidades y espesores de capas. Se revelaron fallas en profundidad que se relacionan con la tectónica compresiva que experimentó la cuenca en el Cretácico- Terciario, se comprobó la dirección del emplazamiento de las secuencias del Arco de Islas Volcánico del Cretácico y las ofiolitas sobre las secuencias terrígenas – carbonatadas de Paleomargen de Bahamas de sur a norte. Se presentó el límite y el esquema de interpretación final más probable del sector de cuenca en estudio a partir de la modelación 3D de los datos gravimétricos.

SUMMARY.

The present study is entitled "3D Formulation of the gravimetrical data of the southern part of Cuban Central Basin" This has the objective of establishing the spatial – structural particularities of the rocks sequences of the southern sector of the Cuban Central Basin from the formulation of a 3D model of gravimetrical data. Here the recuperation of a digital matrix which was obtained from a gravimetrical survey at scale of 1: 100 000 realized in the region studied. This matrix underwent different transformations in the field, from which Analytical Ascendant Continuation (CAA) maps were obtained, horizontal gradients, depth maps and thickness of layers as well as various transversal sections based in the depth maps and thickness of layers.

The processing of information and generation of the maps was done by the use of several software, such as: Surfer[®] version 8.01 – may 9 2002 (Surface Mapping System, Copyright©1993- 2002, Golden Software, Inc), AutoCAD Map[®] 2000 de Autodesk, Inc., Microsoft Excel, DXF2XYZ 1.3 de Guthrie CAD/GIS Software del 2000, Microsoft Word, IMAG-PC version 1.2, 1993, Geosoft (Geosoft Inc, 1992). By which of the following results were obtained:

The particularities of the spatial – structural disposition of the rock sequences in the substrata of the study area and determination of the sectors of greater depths and layers thickness. Faults were revealed at a depth which relates them with the compressive tectonics which the basin underwent in the Cretaceous – Tertiary age, the direction of emplacement of the Volcanic Island Arc of Cretaceous sequences and the ofiolites above the carbonated – terrigenous sequences of the Bahamas Paleomargin, from south to north. The more probable limit and the finally diagram of interpretation of the basin sector in study was presented from the 3D formulation of gravimetrical data.

INTRODUCCIÓN.

La dirección de los avances tecnológicos de las diferentes ramas de la geología y especialmente la geofísica hacia el estudio de sectores del substrato rocoso favorables para la acumulación de hidrocarburos es apreciable. El estudio y análisis de cuencas sedimentarias por medio de métodos geofísicos se ha convertido en uno de los casos de mayor interés en la geología actual, debido a la inequívoca relación de esta sustancia energética con tales estructuras. La Cuenca Central cubana de edad Mesozoico- Terciaria está comprendida en el intervalo Cretácico, este ha sido establecido como uno de los principales generadores de hidrocarburos del mundo (Klemme y Ulmishek, 1991; José-Orlando et al., 1998). Por ello esta investigación titulada: “Modelación 3D datos gravimétricos de la parte sur de la Cuenca Central” tiene como objetivo: establecer las particularidades espacio – estructurales de las secuencias rocosas del sector sur de la Cuenca Central a partir de la modelación 3D de datos gravimétricos. El problema por el cual se decidió la investigación fue: la Incertidumbre en la disposición espacio - estructural de los distintos grupos de rocas en el subsuelo de la Cuenca Central, por lo que el objeto de estudio lo constituyen las rocas y estructuras geológicas comprendidas en el extremo sur de la Cuenca Central. Por ello la hipótesis la constituye la aseveración de que si los principales rasgos geológicos y estructurales del extremo sur de la Cuenca Central se reflejan en el comportamiento de los datos gravimétricos, entonces es posible establecer correctamente las particularidades espacio – estructurales de las secuencias rocosas del sector de estudio.

Marco teórico conceptual.

La región abarcada por la Cuenca Central en Cuba es una de las más perspectivas desde el punto de vista de la prospección y exploración gasopetrolífera. La historia geológica y tectónica de la misma, así como las características faciales de las formaciones aquí presentes han hecho de ella una de las regiones más estudiadas geológica y geofísicamente. Desde antes del 1959 el área que nos ocupa ha sido investigada con determinado grado de detalle por diferentes compañías norteamericana como son: Exploration Survery International Inc (Ipatenko et al., 1971), Subsurface Studies Inc (Ipatenko et al. 1971), Aero Service Corporation (Ipatenko et al., 1957). Luego las investigaciones se siguieron realizando por institutos y empresas cubanas los cuales profundizaron aun más en el grado detalle de los estudios. Todos estos trabajos realizados en el área de estudio no solo nos permiten evaluar las

perspectivas de la misma en cuanto a su potencialidad para contener hidrocarburos, sino que permite desentrañar particularidades de la geología de Cuba en el contexto del Caribe.

Entre los trabajos realizados con anterioridad se encuentran fundamentalmente los que se relacionan a continuación:

En la década de los treinta se llevaron a cabo los primeros trabajos geológicos para Cuba Central, efectuándose una subdivisión litoestratigráfica de la secuencia del Cretácico

A partir del año 1954 comenzó a despertarse el interés de los petroleros en la Cuenca Central, producto a un levantamiento gravimétrico a escala 1:100 000 por la compañía Subsurface Studies Inc (Hatten et al., 1954), donde se detectó la estructura del posterior yacimiento Jatibonico. Durante el intervalo de tiempo 1955-1956 se realizaron en esta cuenca las primeras investigaciones sísmicas, con profundidades inferiores a los 3000 m. La compañía Aero Service Corporation realizó el levantamiento regional aeromagnético a escala 1:300 000 para revelar particularidades magnéticas del substrato cubano (Ipatenko et al., 1957). En la zona de la Cuenca Central fue desarrollado por un levantamiento geológico para caracterizar las rocas del área (Mayerhoff y Hatten 1958). Tuvo lugar un levantamiento terrestre de magnetometría a escala 1:100 000 (Ipatenko et al., 1962).

Se confecciona un informe geológico de la Cuenca Central que contiene el Mapa Geológico rectificado. En este informe por primera vez se trató de generalizar todos los trabajos geólogo-geofísicos realizados en la Cuenca Central. En 1970 se realizan trabajos de exploración sísmica por el método de reflexión, como resultado de estos trabajos confeccionó un esquema estructural de los depósitos Paleocénico–Eocénicos a escala 1:50 000, donde fue revelado un alto estructural coincidente con la anomalía gravitacional anteriormente revelada.

Entre 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 en 1980 por Minerva Rodríguez quien se ocupó del control de la calidad del levantamiento. 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.

Un colectivo de autores del C.I.D.P realizó una caracterización de las facies, colectores y sellos y su distribución areal para los depósitos del Cretácico – Paleoceno de la Cuenca Central de Cuba (Millián

et al., 1987). También se hizo un análisis formacional de la Cuenca Central de Cuba (Millán et al., 1989).

A lo largo de los noventa se cometieron muchos trabajos. Por mencionar algunos tenemos: la determinación de contactos geológicos y tectónicos utilizando técnicas de procesamiento de imágenes y gradiente total normalizado a partir de datos gravimétricos de la Cuenca Central, donde se empleó el software Geosoft (Geosoft Inc, 1992), con los mapas de gradiente se determinaron en esta investigación las direcciones fundamentales de las diferentes estructuras tectónicas principales. Además se realizaron los mapas de CAA (Continuación Analítica Ascendente) con el software IMAG-PC versión 1.2, 1993 que es un programa de procesamiento de imágenes e información bidimensional para determinar estructuras a diferentes niveles de recálculo (0.5 km, 1.0 km y 1.5 km) (Cuevas et al., 1993). Fue hecho un análisis de la geología de Jatibonico, Pina y Esmeralda que cubrió los sectores sin mediciones detalladas con el objetivo 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 (Minerva- Rodríguez, 1993). Se establecieron reservorios y sellos, empleando nuevos métodos para este estudio con la caracterización geólogo petrolífera del Bloque 23 (López- Rivera et al., 1994) y una evaluación del potencial de exploración del Bloque 21, región noreste de la Cuenca Central (Álvarez- Castro, 1994). Por primera vez se confecciona un mapa de anomalías de Bouguer total (con corrección topográfica hasta 167 km) de Cuba centro oriental a escala 1:500 000 (Cuevas et al., 1994), dicho mapa se culmina en 1998. En ese mismo año se realizó un trabajo donde se 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 (Macphee et al., 1998). Se calcula el Efecto Gravitacional del terreno en el Caribe centro- occidental (Cuba, La Española, Jamaica y mares adyacentes), elaborándose el Mapa de Anomalías gravimétricas de Bouguer total (con corrección topográfica hasta 167 km a escala 1:2 000 000) (Cuevas et al., 1999; Cuevas et al., 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; en este trabajo se pretende mostrar las posibilidades prácticas de los Campos Potenciales para la solución de diferentes tareas geológicas (Raúl et al., 2000). 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, 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; 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. En el 2000 se proponen 6 biozonas de foraminíferos planctónicos y su correlación con las biozonas de Rudistas, del intervalo Albiano-Maestrichtiano, incluyendo las secuencias de Cobertura del Campaniano Superior-Maestrichtiano.

Justificación de la investigación.

La problemática del petróleo en el mundo cada vez se agudiza más, los avances en la ciencia y la técnica así como el desarrollo progresivo de la humanidad en todos los sectores, han hecho que el crudo se transforme en un producto antagónico. Esto está aparejado al agotamiento que sufren las fuentes que aportan el preciado líquido, debido a la inmensa cantidad de barriles/ día que se extraen de los yacimientos y campos petroleros existentes en el globo terráqueo. Todo lo expuesto trae consigo que los países más pobres, con menos recursos financieros e incluso en la mayoría de los casos con ausencia total de reservas del hidrocarburo, sean los que más sufran la escasez de este producto.

En Cuba la existencia de algunos yacimientos que con su aporte impulsen en cierta medida la economía, no significa estar exentos del dilema energético mundial. La mala calidad de nuestros hidrocarburos, así como el limitado volumen producido nos empujan a su compra en el mercado mundial. Teniendo en cuenta los elevados precios, que han sobrepasado los 50 dólares el barril (2005), nuestro estado se ha trazado estrategias para contrarrestar los efectos de la problemática. Se ha hecho énfasis en la prospección y exploración gasopetrolífera en zonas perspectivas como el norte de Cuba Centro- Occidental y la llamada Cuenca Central cubana, por la semejanza en las características geológicas-evolutivas de estas zonas con otras en el mundo que constituyen grandes campos de explotación. Esta actividad ha tomado auge últimamente en la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México (ZEE), esto gracias a las nuevas técnicas de extracción y los nuevos métodos de búsqueda en tales condiciones. La asociación del país a empresas y compañías extranjeras que poseen los recursos y las tecnologías más apropiadas para este tipo de estudio del subsuelo, ha permitido mayor precisión en las investigaciones y exactitud de ubicación de perforaciones de exploración.

Los trabajos geofísicos juegan un papel preponderante y a la vez son una herramienta imprescindible para la prospección de yacimientos de petróleo, además con ellos se obtiene una información sobre las características y estructuras geológicas a profundidades considerables, cosa que no se puede realizar con otros métodos a excepción de la perforación de explotación que como ya se sabe a pesar de ser más exacta es mucho más costosa en comparación con la geofísica. Los métodos geofísicos permiten lograr una gran economía de tiempo y medios en estas investigaciones, siendo suficientemente alta la precisión de los resultados obtenidos. Sin embargo dichos métodos no siempre permiten resolver los problemas de una sola acepción, ya que los datos obtenidos se pueden interpretar de modo distinto (Kolomenski, 1984).

La sensibilidad de los datos gravimétricos a rasgos profundos de la corteza así como la versatilidad en su levantamiento, los hacen un elemento importante para la determinación de modelos de cuencas sedimentarias y de la corteza. En la actualidad, los modelos más apropiados para estos ambientes requieren cada vez mayor detalle y complejidad lo cual constituye un creciente reto para el geólogo- geofísico (Gallardo-Delgado et al., 2003; Gallardo et al., 2004).

Principales resultados a obtener.

- Particularidades de la disposición espacial de las rocas del substrato en el sector de estudio.
- Obtención de mapas de profundidades y espesores de capas, Continuidad Analítica Ascendente (CAA), gradientes, mapas de anomalías de Bouguer según modelos calculados del campo gravimétrico y secciones transversales realizadas al modelo calculado de los mapas de profundidades de las capas.
- Resaltar y relevar fallas a partir de los mapas de gradientes horizontales (x, y), los mapas de continuaciones analíticas ascendentes y las distintas secciones transversales.
- Propuesta de un esquema de interpretación final a partir de la modelación 3D de los datos gravimétricos.

CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICO GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.

1.1. Introducción.

1.2. Características físico – geográficas.

1.3. Características geológicas de la región de estudio.

1.1. Introducción:

Las características físico geográficas de la región están muy influenciadas por la evolución geotectónica del Archipiélago Cubano, la cual lo ubicó en una franja geográfica cercana al Trópico de Cáncer. Esto ha hecho posible la existencia de un clima intertropical cálido y húmedo de sabana con influencias continentales. El Archipiélago se encuentra geológicamente sobre la placa Norteamericana y en la zona de interacción de esta con la placa del Caribe. La República de Cuba se encuentra situada en la zona del Caribe entre los 19° y 24° de latitud Norte y los 74° y 85° de longitud Oeste. Está constituida por el Archipiélago Cubano, el más occidental de las Antillas Mayores, con una extensión de 110.922 km²; de los cuales 105.006,7 km² corresponden a la Isla de Cuba, 2.199,6m² a la Isla de la Juventud y 3.715,2m² a las 1.600 isletas y cayos restantes. La Isla de Cuba tiene una configuración alargada y estrecha: en su parte más ancha mide 210km y su parte más angosta es de 32km; su longitud es de 1.200km y la anchura promedio es de unos 100 km. La longitud de sus costas sobrepasa los 5.746km, distribuidos entre la costa Norte y la Sur.

1.2. Características físico geográficas

1.2.1. Ubicación geográfica.

El área que nos ocupa en este estudio se encuentra ubicada en la región central de Cuba, específicamente en la parte sur de la denominada Cuenca Central. Este sector abarca municipios pertenecientes a las provincias de Sancti Spíritus y Ciego de Ávila y está limitada por las coordenadas Lambert 660000 y 750000 de longitud este y 200000 y 240000 de latitud

norte aproximadamente, con una dirección preferentemente NE-SW figura1. La misma según se aprecia continúa extendiéndose y penetrando en el mar con dirección S-E, dando paso a la conocida Cuenca de Ana María, siendo la misma su límite sur. La extensión areal de la porción estudiada es de 3890 km² aproximadamente (Figura 1.1).



Figura 1.1. Mapa de ubicación geográfica del sector de estudio.

1.2.2. Orohidrografía

El relieve de la región es llano con cotas absolutas que alcanzan los 20 y 160m sobre el nivel medio del mar, los valores más altos se encuentran hacia la parte norte del sector analizado, por lo que existen llanuras mayormente planas y otras con algunas ondulaciones, así como algunas pequeñas elevaciones coincidiendo con los máximos valores de la cota del terreno.

El drenaje del área es realizado por un conjunto de ríos y arroyos de los cuales podemos mencionar a los ríos Zaza, Jatibonico del Sur, Naranjo localizados hacia el oeste del área estudiada y una serie de ríos más pequeños con características intermitentes en algunos tramos tales como los ríos: Majagua, Negros, Maniadero, Menchaca entre otros, distribuidos hacia el centro y este del área. Todas estas corrientes fluviales tienen su cabecera o nacimiento hacia la región central de la isla como resultado de la configuración alargada y estrecha de Cuba, cuestión que ha hecho posible la presencia de una línea divisoria o parteagua principal en el centro de la Isla, que ubica a los ríos antes mencionados en la vertiente sur. Debido a lo planteado los ríos del sector investigado corren de norte a sur (Planos- Gutiérrez, 1989), en la región central se presenta un escurrimiento fluvial más uniforme que en el resto del país, determinado por una mejor distribución anual y espacial de las precipitaciones. Asimismo cabe destacar la existencia de la Presa Zaza y la Presa Siguaní de menor dimensión las cuales sirven de fuente de agua para el desarrollo de la agricultura, la ganadería y de consumo humano después de su tratamiento pertinente.

1.2.3. *Clima.*

El clima de Cuba y en cuestión del sector de estudio de manera general es cálido y húmedo, las precipitaciones promedian en el año los 1375mm, con dos períodos bien diferenciados: lluvioso, que corresponde a los meses de Mayo- Octubre y el seco a los meses Noviembre- Abril. Las temperaturas fluctúan en dependencia de los cambios estacionales, estando generalmente en el orden de los 24°C para la mayor parte de las regiones llanas y con ondulaciones suaves, haciéndose menos elevadas a medida que se toma un nivel hipsométrico más elevado.

En el transcurso de los meses de seca no hay ausencia absoluta de las precipitaciones sino un decrecimiento considerable de éstas en comparación con las que ocurren en época lluviosa, cerca del 30% de las precipitaciones caídas corresponden a esta etapa invernal y los restante 70% en el verano, el mes más seco reportado es diciembre. Los vientos Alisios desempeñan un papel importante en el comportamiento del clima, los cuales en invierno presentan dirección nordeste y del este al nordeste en verano. Las temperaturas que como se vio anteriormente están en el orden de los 24°C como media pueden tener variaciones algo significativas, 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 y algo menores. La región central del país se caracteriza por ser las menos calurosas junto a la occidental.

1.2.4. Flora y fauna.

La flora del archipiélago cubano pertenece a la provincia fitogeográfica cubana que forma parte de la subregión antillana de la región del Caribe, perteneciendo al reino neotropical. La flora de la región central de Cuba al igual que su fauna es pobre en endemismo. Al igual que la flora y la fauna del resto del país su evolución estuvo fuertemente marcada por los cambios eustáticos del nivel de mar en los períodos geológicos más recientes. La variabilidad de las comunidades vegetales está condicionada fundamentalmente por los diferentes substratos geológicos y grupos de suelos, entre los que se destacan los relacionados con las serpentinitas, las cuales presentan fitocenosis con mayor cantidad de endemismo. En el sector estudiado podemos encontrar además calizas, arcillas, areniscas, entre otras litologías. En cuestión sobre cada un de estos tipos rocosos se va a desarrollar una flora típica, la cual va estar en dependencia de la composición de los suelos.

1.2.5. Comunicaciones.

Las vías de comunicación de principal importancia que se encuentran en nuestra área son:

- La Carretera Central, que enlaza a los pueblos de Ciego de Ávila, Guayacanes Majagua, Jatibonico y Sancti Spíritus.
- El Ferrocarril Central, con la misma función.
- Ferrocarril Ciego – Morón.

1.2.6. Economía de la Región.

Económicamente el área estudiada se caracteriza por ser una zona generalmente agrícola, donde se desarrolla el cultivo de frutos, como rublos de exportación. El cultivo de la caña de azúcar procesada en el central azucarero Uruguay, aunque en los últimos tiempos el mercado de la azúcar ha perdido fuerza. También se desarrolla la ganadería.

1.3. Características geológicas de la región de estudio

1.3.1. Introducción:

El conocimiento de las características geológicas tanto regionales como locales del área de estudio es necesario y de vital importancia, esto garantiza que se cuente con una base sobre la cual asentar todo el trabajo gravimétrico realizado en el área de estudio. Para nuestro trabajo nos basamos en el Mapa Geológico Digital de las Provincias Centrales a escala 1: 100 000 (García et al., 2001) (Anexo 1.), concretamente en las hojas correspondientes a Sancti Spíritus y Ciego de Ávila. En nuestro caso hacemos un bosquejo de las generalidades geológicas teniendo en cuenta exactamente la sistematización de unidades tectonoestratigráficas según la concepción de las (AEF), propuestas para Cuba Oriental por (Quintas, 1989). Se hace referencia a la relación tiempo- espacio de todos estos conjuntos litológicos con los distintos procesos geológicos cuyas ocurrencias tuvieron un papel determinante en la evolución, transformaciones y distribución de las distintas AEF presentes en el área estudiada. De esta manera analizamos todo lo relacionado con las particularidades de las formaciones rocosas que forman parte del sustrato autóctono y alóctono presentes en la zona central de Cuba y específicamente en la parte sur de la cuenca central a partir de la definición de Asociaciones Estructuro Formacionales (AEF) como “conjunto de unidades litológicas que muestran estilos tectónicos, magmáticos, metamórficos y secuencias estratigráficas, ligados al desarrollo de una unidad geotectónica determinada –arco de islas volcánicos, márgenes continentales pasivos, dorsales oceánicas, cuencas de retroarco y cuencas transportadas –como unidades controladas por la evolución de la corteza terrestre en una región concreta”.

En la constitución geológica de Cuba se conocen dos niveles fundamentales: el sustrato plegado y el neoautóctono. Constituyen el sustrato plegado un conjunto de rocas distintamente deformadas y metamorizadas cuya antigüedad se remonte del Jurásico Inferior- Medio al Eoceno- Superior, aunque hay pequeños afloramientos Neoproterozoicos. Este conjunto lo integran fragmentos de estructuras propias del Caribe occidental y del Pacífico, originados sobre un sustrato continental oceánico. Las unidades geológicas de naturaleza continental son segmentos de los antiguos márgenes continentales de Yucatán y las Bahamas, parcialmente cubiertos por cuencas de antepaís. Las unidades geológicas de naturaleza oceánica son relictos de antiguas cortezas oceánicas, y cuatro sistemas de arcos volcánicos, tres del Cretácico y uno del Paleógeno. Sobre las unidades oceánicas se desarrollaron cuencas sedimentarias postvolcánicas y transportadas (Piggy Back) de edad Campaniano Superior al Eoceno Superior. El neoautóctono está representado por varias

generaciones de cuencas sedimentarias desarrolladas sobre el substrato plegado, que cubre como un tapete poco deformado las estructuras anteriores. El contraste principal entre el substrato plegado y el neoautóctono es que el primero incluye elementos de distinta procedencia, propios de la placa Norteamericana, del Caribe y posiblemente del Pacífico; en cambio el neoautóctono representa la evolución de un segmento pasivo del margen meridional de la placa de Norteamérica, después que los integrantes del substrato plegado se acrecieron a ella (Iturralde- Vinent, 1998).

El cinturón plegado cubano está mejor representado en la parte occidental y central de Cuba, caracterizado en lo fundamental por la presencia de rocas del Arco de Islas Volcánico del Cretácico, más una corteza ofiolítica que cabalga sobre las secuencias terrígeno-carbonatadas y carbonatadas del antiguo margen continental de edad Jurásico- Cretácico (Meyerhoff y Hatten, 1974; Quintas, 1989; Draper et al., 1994; Iturralde- Vinent, 1996).

Todo el conjunto aparece complejamente deformado producto al proceso de colisión (Ross y Scotese, 1988; Pindell et al., 1988; Pindell, 1994), y según los modelos y cinemática de las placas en convergencia, se desarrolló una colisión oblicua (Mann et al., 1995) del Arco de Islas Volcánico Cretácico y las ofiolitas con las rocas del paleomargen continental, que provocó la obducción del cinturón ofiolítico del mar marginal, desde fines del Cretácico Superior al Eoceno Medio, con el correspondiente desarrollo de plegamiento y cabalgamientos en dirección septentrional, con magnitudes diferentes de desplazamiento, originándose fallas de deslizamiento por el rumbo con sus respectivas cuencas tensionales. Como consecuencia de las relaciones tectónicas entre las diferentes estructuras geológicas implicadas en la obducción y colisión, se desarrollan 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; todo este conjunto y su evolución se describen posteriormente.

1.3.2. Geología

Según la concepción de las AEF, las relaciones espacio temporales, genéticas y estructurales existentes entre las unidades litológicas que la integran, son representativas de los ciclos tectónicos y de sedimentación que caracterizan las unidades geotectónicas; y las diferentes fases del desarrollo tectónico, magmático, metamórfico que están recogidos en la

columna sedimentaria. Al igual que en otras concepciones de clasificación esta se basa en los principios de la Tectónica de Placas y de las relaciones entre las mismas, tales como los movimientos de divergencia, convergencia y transformación y colisión (Kingston et al., 1983a; Bois, 1982, DeCelles y Giles, 1996).

La AEF está determinada a partir del reconocimiento de las paleounidades geotectónicas que están ligadas a la historia geológica de una región, donde es posible observar su unidad sistémica a pesar de los efectos de eventos tectónicos y térmicos sobreimpuestos que forman parte del desarrollo de una región determinada; como pueden ser las fases de apertura, deriva y cierre de océanos, que conlleva a la formación de cinturones móviles (Bois, 1982) algo semejante a la evolución de Cuba, aunque se debe olvidar que la historia de las unidades geotectónicas pueden ser similares en aspectos generales, pero muestran importantes diferencias en detalles (Kingston et al., 1983a).

El uso de esta sistematización permite localizar e identificar las estructuras geotectónicas que se desarrollaron y desarrollan en una región del planeta por la interacción de placas, permitiendo ordenar la evolución geológica de las zonas complejas, como los cinturones plegados y fallados. Todo ello implica un mejor ordenamiento en las posibles ocurrencias de acumulaciones de minerales útiles genéticamente desarrollados a su desarrollo (Quintas, 1989).

Las características de las estructuras tectónicas y la observación de la constitución profunda permiten dividir en un corte transversal el segmento central de Cuba con una dirección de norte a sur en siete A.E.F:

- 1.A. E. F del Paleomargen Meridional de América del Norte(Bahamas): existe un cambio de norte a sur en un perfil de plataforma (shelf) a otros caracterizado por sedimentos carbonatados silicicoclásticos depositados en una cuenca profunda no compensada; dividido en las sub- A.E.F. Bahamas, plataforma carbonatada, Remedios (plataforma carbonatada inundada), Colorados (sección carbonatada en pendiente y de aguas profundas), Camajuaní (sección carbonatada de aguas profundas proximal), Placetas (sección carbonatada de aguas profundas distal). Las secuencias de la sub- A.E.F. placetas son consideradas como las rocas madres que generaron el petróleo de cuba.
2. A.E.F. de fondo oceánico (Asociación ofiolítica). En la región central la Asociación Ofiolítica está representada por cuatros complejos:

- Complejo ultramáfico.
- Complejo de gabroides.
- Complejo de diques paralelos.
- Complejo de basaltos.

La Asociación ofiolítica está sobrecorrida sobre el Paleomargen de Bahamas debido al proceso de obducción, aparece en el pozo Jatibonico 78. (Figura 1.2.).

3. A.E.F. del Arco de islas Volcánico del Cretácico: en Cuba central el arco de islas está representado por las formaciones Mataguá, Provincial, Cabaiguán y La Rana, las cuales están formadas por rocas vulcanógenas – sedimentarias del Cretácico Inferior y Superior y estructuralmente es una enorme sinforma asimétrica compuesta por varias estructuras sinformes y antiformes de menor orden, se encuentran afectadas por dislocaciones transcurrentes que forman un sistema de fallas transformantes de orientación noreste que provocaron que las rocas del arco de Islas estén sobrecorridas junto a la Asociación Ofiolítica sobre las secuencias del Paleomargen de Bahamas. Entre las rocas aparecen tobas andesíticas y andesito- Basálticas, tufobrechas y en menor medida areniscas, margas y calizas.

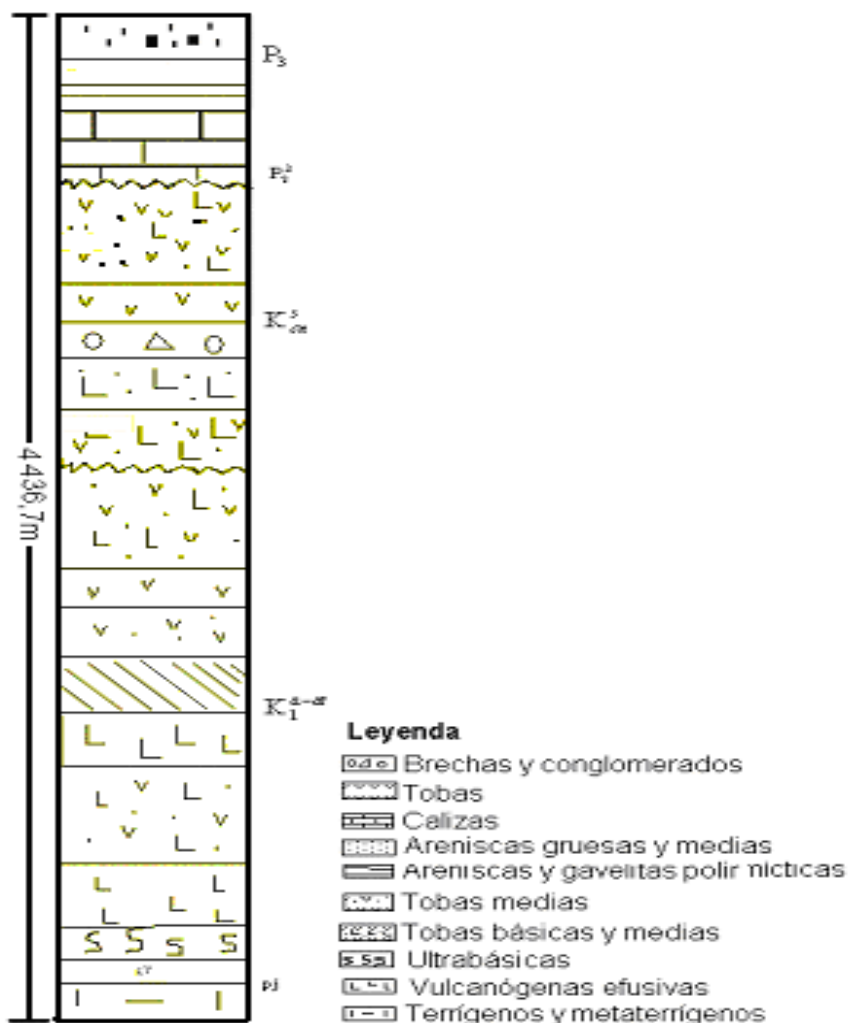


Figura 1.2. Columna litológica de las secuencias del pozo Jatibonico 78.

4. A.E.F. de Cuencas Superpuestas de Primera Generación: en la región central estas cuencas se desarrollan del Cretácico Superior Campaniano al Maestrichtiano y están representadas por las formaciones Carlota, Isabel, Catalina, Eloisa y Monos, constituidas por secuencias carbonatadas y conglomeráticas, hay secuencias de tipo turbidítico, incluyendo bancos carbonatados y complejos arrecifales.

5. A.E.F. de Cuencas Superpuestas de Segunda Generación: se desarrolla desde el Paleoceno Inicial Parte Alta hasta el Oligoceno, están representada por las formaciones Jatibonico, Taguasco (Olitostroma), Arrollo Blanco, Zaza, Loma Iguará, Fomentos, Jucillo, Marroquí, Vertientes, Chambas, y Tamarindo las cuales están compuestas por conglomerados, areniscas, margas y brechas, todas son indicadoras de un sistema tectónico activo durante este período de tiempo.

6. A.E.F. Neoplatafórmica: en la región central aparece representada por la formación Paso Real, está compuesta por areniscas polimícticas, margas, arcillas, conglomerados donde existía un régimen tectónico pasivo, evidenciando la conclusión de los movimientos de sobrecorrimiento. Abarco desde el Mioceno hasta el reciente.

7. AEF del Paleomargen Suroccidental del Bloque Yucatán. Metamorfizado: Las rocas consideradas como pertenecientes a esta AEF afloran en las localidades del sistema montañoso Escambray- cúpulas de trinidad y Sancti Spíritus en- el límite sureste de la parte centro oriental cubana. Esta asociación está caracterizada por el desarrollo de depósitos terrígenos y carbonatados epicontinentales de edad Jurásico- Cretácico, pero con marcadas diferencias en su composición y características del metamorfismo que las afecta (Millán y Somin, 1985; Drapper y Barros, 1994b). Las rocas del Complejo Escambray han sido sometidas a un metamorfismo regional de alta presión y baja temperatura en gran parte del mismo (Millán y Somin, 1985) con una zonación invertida en su metamorfismo (Millán y Somin, 1985).

Las dos grandes cúpulas que constituyen estructuralmente el Complejo Escambray están constituidas por la Formación Loma la Gloria (Millán y Somin, 1981) compuesta en lo fundamental por esquistos metaterrígenos; Los Esquistos Cristalinos Algarrobo (Millán y Somin, 1981), la Formación Cobrito (Millán y Somin, 1981) representada por una sucesión de esquistos calcáreos y mármoles esquistosos, en la que han sido descrito restos de radilarios Spumellaria spp. y Nassellaria spp., además de restos de Cadosina sp. Y raros casos de Globochaete alpina, así como Calionelidae o Chitinaidella (Millán y Somin, 1985) que indican una edad jurásico Superior- Cretácico Neocomiano (Millán y Somin, 1985; Iturralde- Vinent, 1996). La Formación Boquerones (Millán y Somin, 1985), unidad calcárea donde palinomorfos de edad Jurásico- retácico (Dublan, Álvarez et al., 1985; Millán y Somin, 1985). Las formaciones LLamagua y Herradura (Millán y Somin, 1985) compuestas por esquistos metaterrígenos, asumidos como Jurásicos con abundantes granos de circón detrítico (Millán y Somin, 1985). El Grupo San Juan (Millán y Somin, 1981) representado por mármoles oscuros, encontrándose en su parte basal ammonites del Oxfordiano Medio parte alta, con morfología similar a los encontrados en las calizas tithonianas de la Cordillera de Guaniguanico (Millán y Somin, 1985). La Formación charco Azul (Millán y Somin, 1981) ncompuesta por cuarcitas, metasilicitas y rocas calcáreas, en las que se han encontrado microfauna del Tithoniano- Cretácico Inferior (Millán y Somin, 1985).

Las diferencias que pueden existir en cuanto al grado e historia del metamorfismo a que han sido sometidas estas rocas, no sea más que la interacción de un conjunto de procesos geológicos ocurridos en un límite compresivo de placas (Millán y Somin, 1985). Esta conclusión se refuerza con las nuevas evidencias estudiadas en macizos metamórficos del análogos en le mundo (Smith, 1988; Yardley, 1990; Millán et al., 1998; Brown, 1998).

1.3.3. Tectónica.

La Cuenca Central se encuentra tectónicamente asociada a la región del desarrollo meso-cenozoico de la falla rumbo deslizante la trocha. Los límites de la cuenca han sido establecidos por gravimetría. Al suroeste está limitada por el Macizo Metamórfico Escambray, su límite noroeste lo constituye las secuencias plegadas y sobrecorridas de la AEF del Arco de Islas Volcánico del Cretácico y las sub- AEF Remedios, Placetas Camajuaní, separadas de estas por la Zona de fallas inversas Tunicú. Al norte limita con la Cuenca de Antepais Cubana, de la cual está separada por pequeños levantamientos tectónicos de la AEF del Paleomargen de Bahamas, provocados por el proceso de obducción en el Cretácico Superior Campaniano- Maestrichtiano 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 5km de rocas terrígeno- carbonatadas de edad Cretácico Superior Campaniano- Maestrichtiano al Cuaternario. Una secuencia inferior de fines del Cretácico Superior Maestrichtiano al Eoceno Medio en la que aparecen formaciones molásicas y flyschoides Fm. Eloisa. Fm. Taguasco. Y Fm. Loma Iguaará, lo que demuestra una acumulación en condiciones de inestabilidad tectónica en cuencas asociadas al proceso rumbodeslizante, 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 (Millán, 1989; Blanco, 1999).

La secuencia superior de edad Eoceno Superior al Reciente, es carbonatada- terrígena fundamentalmente (Millán, 1989), depositadas 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 (Hatten et al, 1958).

La Cuenca se fue ensanchando paulatinamente, una característica de las cuencas tensionales, lo que queda evidenciado en el análisis de los espesores de las secuencias del Campaniano- Maestrichtiano. En este período la sedimentación ocurría fundamentalmente en distintas cuencas intramontanas transportadas, donde había 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 (Blanco, 1999).

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 sobrecorrimentos comienzan a disminuir, luego de concluida la acreción la sedimentación se desarrolló en el lugar que actualmente ocupa la cuenca, adquiriendo su configuración final en el intervalo Neógeno- Cuaternario (Iturralde- Vinent, 1997).

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 (Millán, 1998).

La zona suroccidental, que en cuestión es la que nos ocupa, 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 1000m en dirección sub- latitudinal y de 100 a 300 en dirección sub- longitudinal (Rodríguez, 1996).

En dirección sub- latitudinal aparece al norte una franja levantada, con sectores perspectivas 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. Hacia el centro de la región y en los flancos de estas elevaciones encontramos zonas relativamente deprimidas como Adelaida, Marroquí y Melones; aquí las facies terrígenas- carbonatadas del Campaniano Superior son muy buenos

colectores de hidrocarburos, sirviendo las facies arcillosas de sellos locales y posiblemente regionales como lo demuestran los estudios dentro de la Cuenca Central (Perera y Hernández, 1998).

Como es sabido la Cuenca Central se encuentra asociada tectónicamente a la región de hundimiento central de Cuba y está regionalmente dividida para su licitación a las compañías extranjeras en los bloques 21 (sector nororiental) y 23 (sector suroccidental).

El Bloque 21 está ubicado tectónicamente en la región noreste de la denominada Cuenca Central cubana, caracterizándose por un amplio desarrollo de mantos tectónicos de la A.E.F. del Arco de Islas Volcánico del Cretácico y la Asociación Ofiolítica, cubiertas en su mayor parte por una cobertura sedimentaria compuesta por las rocas correspondientes a las A.E.F. Cuencas Superpuestas de Primera Generación, A.E.F. Cuencas Superpuestas de Segunda Generación y A.E.F. de Neoplataforma (Álvarez- Castro, 1998).

Aquí se destacan cinco mantos tectónicos del eoceno (Morón, Jobo, Pina, Majagua, y Ciego). Se parte de que esta región estuvo siempre en el Antearco Volcánico cubano y que las rocas del arco de islas presentes en la región fueron cabalgadas por los mantos de sobrecorrimientos de el sur a norte (Bush y Shcherbakova, 1987).

El Bloque 23 se encuentra en la zona central sur de Cuba y que está situado en su totalidad en zonas de desarrollo de secuencias del Arco Volcánico cubiertas o no por sedimentos. La cobertura sedimentaria está cubierta no solo por secuencias del Cretácico Superior Eoceno Medio- Reciente sino además por las rocas depositadas sobre la montaña orogénica Cretácico Medio- Terciario Inferior e incluso rocas de las cuencas formadas dentro del propio Arco Cretácico Inferior y Medio.

Se conoce que producto a la orogénia cubana desde el Campaniano hasta el Eoceno el Arco volcánico interactuó con el margen continental norteamericano imbricándose fuertemente con la cuña sedimentaria del margen pasivo. Al final, el Arco Volcánico y su basamento obducen la corteza continental norteamericana desprendiendo y plegando subsecuentemente toda la cobertura sedimentaria. En este proceso el propio Arco se va a plegar y tectonizar intensamente resultando una estructura de pliegues cabalgantes en la que están envueltos tanto elementos apicales del Arco Volcánico como las cuencas asociadas y su sustrato ultrabásico (Hatten et al, 1988).

En resumen, en el Cretácico Inferior Aptiano al Cretácico Superior Santoniano Cuba estaba presumiblemente compuesta por dos grandes elementos: los márgenes continentales y el Arco Volcánico. En los márgenes continentales se diferencian dos grandes zonas: las plataformas carbonatadas y las cuencas profundas. En las plataformas se pueden diferenciar zonas que fueron inundadas en diferentes momentos de su historia con una relación clara con los movimientos eustáticos del nivel del mar. En las zonas de cuencas se diferencian varias zonas por su cercanía a las diferentes fuentes de aportes: los bloques siálicos del basamento o la plataforma (Millán, 1998).

La estructura del Arco y todos sus elementos (cuenca de antearco, zona del eje volcánico o franja apical y sus cuencas interarco, zona de retroarco y mar marginal) aun no tiene una ubicación espacial definida; hoy día todavía se realizan investigaciones más detalladas que permitan conocer donde se encontraba. Las cuencas relacionadas al Arco tienen muy corta vida pues se rellenan rápidamente de material friable derivado del eje de volcanes y que corresponde a las series efusivos- sedimentarias. De todas las cuencas la más estable es la de retroarco, la cual fue sometida a un ambiente de distensión constante desde el Cretácico Inferior. Todas estas estructuras relacionadas al arco se encontraban separadas por la cuenca de antepaís (foreland) del Paleomargen de Bahamas (Iturralde- Vinent 1997).

1.3.4. Aspectos estratigráficos de la Cuenca Central.

En el registro estratigráfico del Campaniano-Maestrichtiano 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; Millán, 1986a, b, 1987, 1989). En la sección del Campaniano Superior aparece una facies terrígena compuesta de conglomerados vulcanomícticos, areniscas vulcanomícticas y escasas argilitas (Sánchez-Arango, 1977; Millán, 1986a, b 1987, 1989). Los depósitos Maestrichtianos 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 recrystalizadas (Sánchez-Arango, 1977; Millán, 1986a, b, 1987, 1989). En el Paleoceno se describen facies terrígenas-carbonatadas- arcillosas (Sánchez-Arango, 1977; Millán, 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; Millán, 1986a, b, 1987,1989).

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, Chabmas y Tamarindo como representantes terciarios como se muestra en el anexo 2 se tomó en cuenta las características estratigráficas de estas 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 et al., 1958; Sánchez-Arango, 1977; Linares, 1978; Millán, 1986a,b; García, et al., 1986; Álvarez-Castro et al., 1994; Guerra, 1996; Rodríguez, 1996, Blanco y Figüeras, 1996).

Fm. Guayos 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 (Millán, 1986a) como se muestra en la figura 1.3. 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-Maestrichtiano.

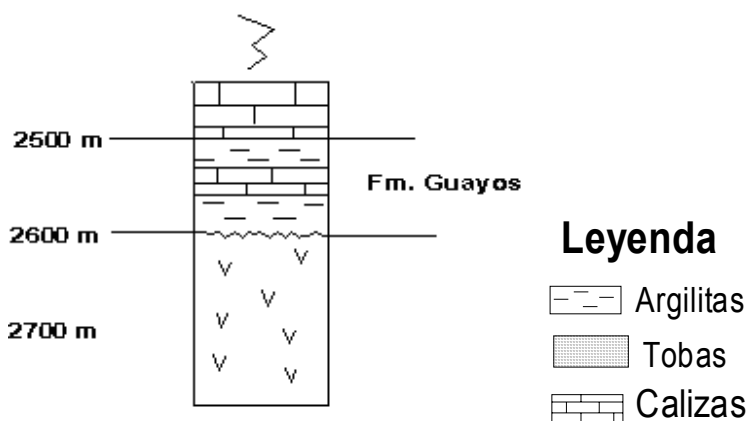


Figura 1.3. Formación Guayos, pozo Catalina 6

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 (Millán, 1986a, Segura et al., 1988). Esta formación sólo tiene algunos equivalentes en superficie en la provincia de Camagüey hacia la localidad de Vertientes (Wallace, 1956; Millán, 1986a; 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 sobrecorrimento (Schott y Johnson, 1998), complementando la concepción inicial de Millán (1986a). Los contenidos de carbón bituminoso con pirita en la formación Guayos indican un medio de sedimentación restringido y anóxico (Millán, 1986), esto hace que se pueda considerar favorable en una valoración de sus posibilidades como roca madre de petróleo.

Fm. Eloisa (Hatten, 1958). Su edad está determinada a partir de su fauna compuesta por *Sulcoperculina Sp.* *Pseudorbitoidae.* *Globotruncana Sp.* *Hedbergella Sp.* *Globigerinelloides Scheri.* *Pseudotextularia Elegans* como Cretácico Superior Campaniano-Maestrichtiano. Descrita como un corte que transiciona verticalmente desde una base conglomerática vulcanomítica a un material más calcáreo y arenoso hacia el techo (Millán, 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 polimíticas y gravelitas como se muestra en la figura 1.4. (Sánchez et al., 1977; Millán, 1986, 1987). Esta formación representa los primeros sedimentos acumulados en la parte superior de las secuencias del Arco Volcánico Cretácico luego de su extinción y levantamiento.

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-Maestrichtiano 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. Durán de la región de Camagüey.

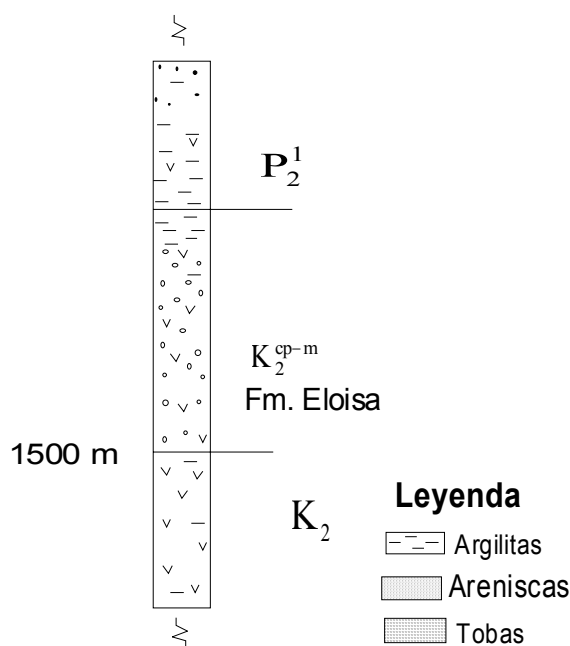


Figura 1.4. Formación Eloisa, pozo Pina Norte.

Fm. Catalina (Meyerhoff, 1958). 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, 1958; Sánchez-Arango, 1977; Millán, 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 (Millán, 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-Maestrichtiano. 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 (Meyerhoff, 1956), lo que se puede observar en la figura 1.5. La secuencias de lutitas carbonatados grises con intercalaciones de arenisca calcáreas de la Fm. Catalina (Sánchez, 1977), han sido reportadas en varios pozos dentro de la Cuenca Central con edad y litología semejante Sancti Spíritus 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 et al., 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.

Fm. olistostroma Taguasco Aflora en la parte centro oriental de la provincia de Sancti Spíritus 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 flyschoides 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.

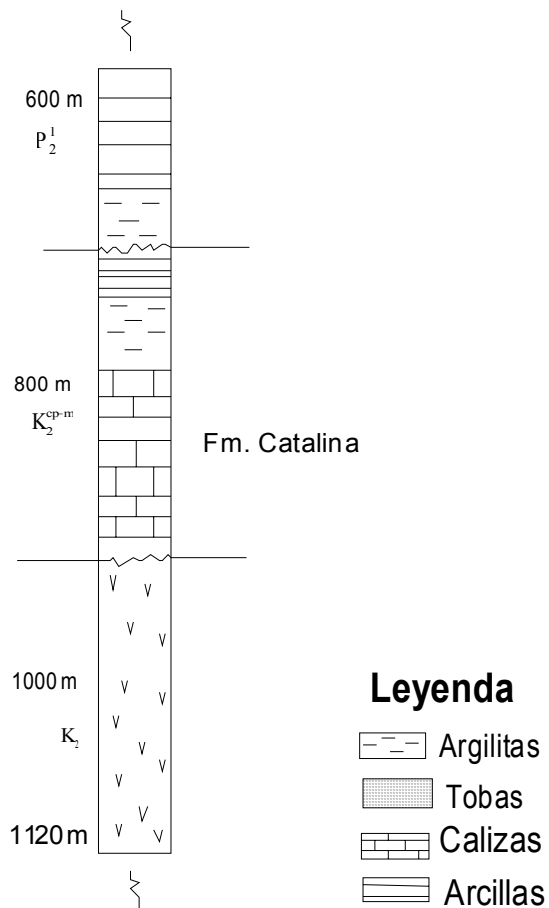


Figura 1.5. Formación Catalina, pozo Cristales 63.

Los olistolitos y bloques en el Olitostroma Taguasco 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 Arrollo 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 vulcanógenas- 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 1.6., Vega Grande y Sancti Spíritus (Léxico estratigráfico de Cuba, 1988).

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.

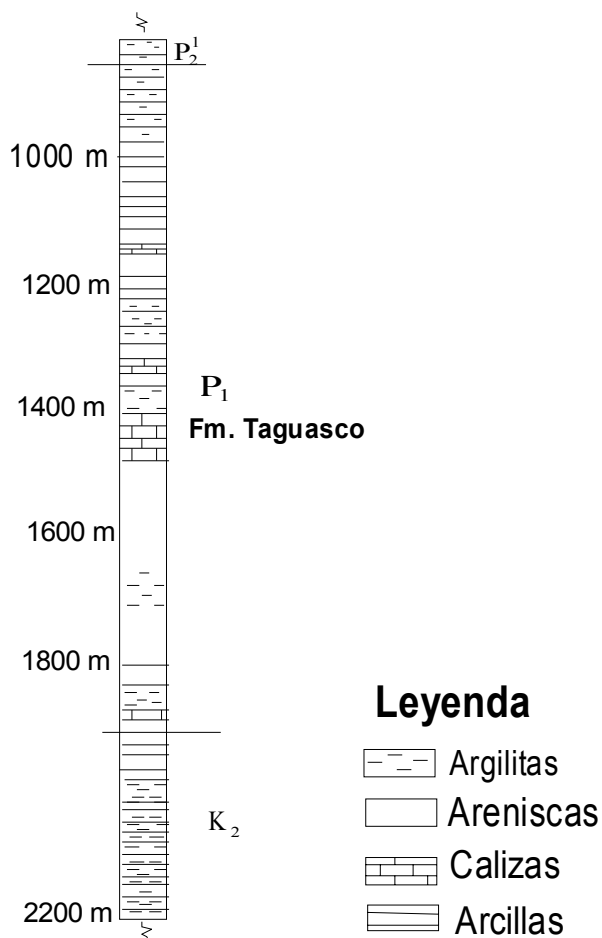


Figura 1.6. Formación Taguasco, pozo Catalina 6.

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 siliciclasticos 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 Iguaará, aflora en las lomas Iguaará, 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 (Hatten et al., 1958). 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 un desarrollo granodecreciente a medida que transiciona a la Fm. Zaza.

Fm. Zaza. En superficie esta formación tiene un amplio desarrollo en las provincias de Sancti Spiritus y en el extremo occidental de Ciego de Ávila y constituye una secuencia de tipo flyschoides, 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 Iguaará, y discordante con un carácter erosivo cuando cubre las tobas del Arco Volcánico Cretácico (Millán, 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 Blanco (Léxico estratigráfico de Cuba, 1988; Rodríguez, 1996).

Los sedimentos de esta formación así como parte de los del Maestrichtiano representan el sello regional de todos los yacimientos del noreste de la Cuenca Central (Millán, 1987b). El espesor de la misma oscila entre 350 y 500 m, siendo cortada entre otros por los pozos Sancti Spíritus 1, Catalina 6 y Cometa 1, Pina 32 (Millán, 1987b; Rodríguez, 1996).

Fm. Arroyo Blanco (Hatten et al., 1958). Su descripción original es de alrededores del pueblo de Arroyo Blanco y al noroeste del pueblo de Jatibonico, provincia de Sancti Spíritus. Está representada por aleurolitas, margas, areniscas calcáreas, conglomerados polimícticos, areniscas polimícticas, calizas organógeno-detriticas, 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 (Millán, 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 % 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 el carácter que transicionan 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.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS PROYECTADOS.

2.1. Introducción.

2.2. Principios teóricos y métodos de análisis.

2.3. Criterios fundamentales de la Interpretación Geológica de las anomalías de la Gravedad.

2.4. Etapas del desarrollo de los trabajos.

2.5. Petrofísica.

2.1. Introducción:

En vista a la importancia del aspecto metodológico en la realización de la tesis, nosotros establecimos una metodología de realización de la tesis. Esta metodología recoge todos los pasos seguidos durante la ejecución de la misma, tiene en cuenta los principios teóricos del método geofísico utilizado y los criterios fundamentales de la interpretación geológica de las anomalías.

La investigación se dividió en tres etapas según la naturaleza y complejidad de los trabajos. Estas etapas metodológicas de nuestra investigación, no difieren en lo absoluto de las llevadas a cabo en otras investigaciones, en cuanto al diseño metodológico convencional.

Teniendo en cuenta el contenido del trabajo decidimos nombrar las etapas como:

Primera etapa (Preeliminar). Búsqueda y revisión de toda la información posible sobre el área de estudio.

Segunda etapa (Experimental). Metodología seguida para la realización de la tesis.

Tercera etapa (Representación e interpretación). Presentación e interpretación de los resultados obtenidos.

2.2. Principios teóricos y métodos de análisis.

2.2.1. Gravimetría.

La gravimetría es uno de los métodos geofísicos más utilizados en la actualidad para el estudio del subsuelo y de muchos aspectos geológicos de la corteza terrestre. A través de ella se estudia el comportamiento del campo gravitatorio de masas rocosas que se encuentran en el interior de la tierra. En la superficie terrestre, el campo de la fuerza de gravedad de la masas rocosas está formado por la fuerza de atracción de Newton y por la fuerza centrífuga motivada por la rotación de la tierra y debido a que la componente de la gravedad es mucho mayor que la de la fuerza centrífuga, en gravimetría se utiliza solamente la componente gravitatoria (Mirónov, 1997).

El método gravimétrico se basa en el estudio del campo gravitatorio generado por las heterogeneidades en las densidades del medio geológico. Las mayores anomalías gravimétricas se localizan en zonas de exceso de masas, es decir, donde se encuentran rocas muy densas, generalmente relacionadas con estructuras geológicas como es el caso de los anticlinales o con la presencia de cuerpos altamente densos (Mirónov, 1977; Griem y Griem- Klee, 2004).

Hoy día la prospección gravimétrica se aplica ampliamente resolver los más diversos problemas geológicos, esto se debe entre otras cosas a su alcance referido a la profundidad de la investigación. Actualmente el método gravimétrico constituye una de las herramientas fundamentales de la prospección geofísica en investigaciones locales y regionales. A pesar de ser utilizado para la búsqueda y detección de yacimientos minerales útiles, su importancia es aún mayor en la localización de yacimientos de petróleo y gas, cromita y minerales hierro (Mirónov, 1997). Por tal razón en esta investigación se utiliza este método, mediante el cual se establece el modelo estructural del área analizada.

Para que existan anomalías de la gravedad es necesario que las rocas integrantes de la región, área o sector a investigar presenten contrastes por diferencias en sus densidades y los límites entre ambas no sean horizontales. La diferencia de densidad es la premisa fundamental de la utilización con éxito del método gravimétrico para las investigaciones geológicas, búsqueda y prospección de minerales. Cuanto mayor sea la diferencia de las densidades de las rocas contenidas y del objeto a investigar, con mayor éxito puede aplicarse la prospección gravimétrica (Mirónov, 1997).

En la gama de datos gravimétricos de diferentes naturalezas un procedimiento muy común es el tratamiento de imágenes. El procesamiento digital de imágenes con ayuda de computadoras ha alcanzado gran popularidad como un medio para llevar a cabo la interpretación estructural que se puede realizar a un mapa de contornos de datos geofísicos, en particular de datos gravimétricos y aeromagnéticos (Kowalik y Glenn, 1987; Seigel, 1989).

2.2.2. Transformaciones del campo gravimétrico.

El valor del campo gravitatorio observado en un punto no es debido a un cuerpo simple, sino a la superposición del efecto de varios cuerpos que pueden tener estructuras muy complejas. Para solucionar problemas geológicos concretos, del campo total se tienen que eliminar los efectos que se corresponden con anomalías de cuerpos sin interés y resaltar las que respondan a los distintos objetos que nos interesan es por esto que las anomalías se transforman de manera que resalten unas peculiaridades del campo y que se atenúen y se eliminen otras (Menshikov- Vladimir et al., 1973).

En vista a dar solución al problema indirecto de la gravimetría, es decir para determinar la forma, dimensiones, situación y densidad del cuerpo es necesario separar sus influencias en el campo gravitatorio. Esta separación se consigue realizando las llamadas transformaciones del campo gravitatorio, el cual consiste en dividir el campo inicial en componentes, donde cada una de ellas corresponda a fuentes de diferentes naturalezas geológicas, profundidad, forma, etc (Grant & West, 1966).

Dado el objetivo de la investigación de establecer un modelo estructural de el sector sur de la Cuenca Central con vista a la prospección gasopetrolífera, nosotros seleccionamos como método de transformación la continuación analítica y los gradientes horizontales X, Y.

En el caso de la continuación analítica decidimos escoger específicamente la Continuación Analítica Ascendente (CAA). Esto no es controversial si se tiene en cuenta que para la utilización de la Continuación Analítica Descendente (CAD) debemos conocer las profundidades de las masa que provocan las anomalías consideradas, dato del que estamos

exentos y al cual deseamos tener la mayor aproximación posible. Por lo demás la continuación en el semiespacio inferior solo revela anomalías de carácter local que no son de interés cuando se trata de investigaciones donde es de interés primordial conocer la estructura en profundidad, producida de objetos grandes y profundos, es decir, objetos que producen anomalías regionales (Peters, 1949; Menshikov- Vladimir et al., 1973).

Por su parte la continuación en el semiespacio superior es para nosotros de gran interés, pues esta calcula el campo a diferentes alturas por encima de la superficie, esto trae consigo que las anomalías residuales decrezcan rápidamente y se eliminen. Por esta razón la anomalía que persiste a la máxima altura del recálculo es considerada como regional, producto a que los cuerpos de gran extensión situados a gran profundidad presentan variaciones del campo más lentas, a esto se suma la ventaja con respecto a la CAD de que por encima de la superficie terrestre no existen fuentes que intervengan en el efecto provocado (Ipatenko, 1971; Menshikov- Vladimir et al., 1973). Todo lo analizado está en correspondencia con lo que buscamos debido a la posibilidad de que tales cuerpos se comporten como estructuras propicias para la acumulación de hidrocarburos.

La continuación analítica de las anomalías de la gravedad se utiliza ampliamente en la práctica de la interpretación, no solamente para separar las anomalías de la gravedad de distintos órdenes sino para determinar los parámetros de los objetos perturbadores (Mirónov, 1977).

En la aplicación del método gravimétrico en ocasiones es más útil emplear la magnitud del gradiente que la intensidad del campo, alcanzando su mayor importancia en el caso de anomalías complejas, cuando los campos gravimétricos de cuerpos grandes y pequeños que se encuentran a diversas profundidades se superponen entre sí (Batista, 1998; Gunn et al., 1998).

La información aportada por estos mapas del gradiente del campo gravimétrico se caracteriza por su validez y fidelidad, pues la presencia de altos gradientes siempre es indicador de contactos litológicos bruscos o la presencia de una estructura tectónica. Artículos publicados destacan la importancia de los gradientes durante el análisis de campos potenciales (Nabighian, 1984).

La ventaja de los gradientes gravimétricos sobre el campo total o cualquier otra componente es evidente, ellos eliminan ruidos y mejoran la señal debido a fuentes poco profundas (Hood et al., 1979; Marcotte et al., 1990; Marcotte et al., 1992), estos autores muestran que las mediciones directas de los gradientes horizontales pueden ser usadas para condicionar el interpolador interlineal en la regularización del campo gravimétrico total, lo que trae como resultado un mejoramiento de dicha red. Además en este trabajo utilizamos solo los gradientes horizontales, debido a que estos nos dan la variación de la gravedad en una cierta distancia hacia una cierta dirección. Muchas veces se crean máximos en el gradiente horizontal directamente encima de la falla. En mapas gravimétricos hay que buscar las zonas con la densidad de las isoanómalas más grandes para ubicar las fallas. Las fallas ubicadas gravimétricamente tienen que ser comparadas con mapas tectónicos (Mirónov, 1977).

Durante la exploración, medición o cálculo del gradiente horizontal es importante responder principalmente a los contrastes de las rocas en contacto en la parte superior de la corteza (Hood y Teskey, 1989). A pesar de las bondades de los gradientes, debe tenerse en cuenta que el proceso de obtención de estos se generan anomalías que no tienen una naturaleza geológica comprobable y en ocasiones se amplifican ruidos y errores del levantamiento (Batista, 1998).

El procesamiento digital de imágenes con ayuda de computadoras ha alcanzado gran popularidad como un medio para llevar a cabo la interpretación estructural que se puede realizar a un mapa de contorno de datos geofísicos, en particular gravimétricos y aeromagnéticos (Kowalik y Glenn, 1987). Las técnicas de procesamiento de imágenes más empleadas incluyen la presentación de imágenes en pequeñas escalas de niveles grises, el mejoramiento de contraste local, la iluminación artificial del mapa de relieve sombreado- y el filtrado direccional. Con estas técnicas es posible revelar la presencia de fallas y pliegues no reconocibles en los mapas de contornos estándar.

En el transcurso de esta investigación se calcularán los gradientes horizontales X, Y del campo gravimétrico, con ayuda del software IMAG-PC versión 1.2, 1993 elaborado por especialistas del laboratorio de inteligencia artificial y análisis de datos, y el departamento de geofísica del ISPJAE respectivamente.

2.3. Criterios fundamentales de la Interpretación Geológica de las anomalías de la Gravedad

La interpretación geológica de las anomalías de la gravedad consiste en revelar las leyes de distribución de estas anomalías en la superficie terrestre, establecer la relación de dichas leyes con los objetos y procesos geológicos a utilizar, y utilizar las relaciones reveladas para resolver diferentes problemas geológicos (Mirónov, 1977).

Los resultados de la interpretación dependen de la complejidad de la estructura geológica de la zona a investigar y de la intensidad con que se haya estudiado geológica y geofísicamente. Si los datos son limitados se establece solamente la relación de las anomalías de la gravedad con unos u otro complejos de rocas que componen el territorio en cuestión y se determina la probable disposición de los elementos tectónico -estructurales (zonas de fracturas, pliegues, anticlinales, sinclinales y distintos cuerpos minerales, etc.) que son responsables del origen de las anomalías de la gravedad. Esta interpretación geológica se suele llamar cualitativa. La Interpretación cualitativa es la etapa primera y fundamental de la interpretación, se realiza siempre y para ello, se utilizan todos los datos que se tienen del área en estudio.

En condiciones peculiarmente favorables, además de los vínculos cualitativos del campo gravitatorio con la particularidades geológicas de terreno, mediante procedimientos matemáticos especiales pueden determinarse parámetros complementarios de los cuerpos geológicos que crean las anomalías de la gravedad (naturaleza del campo gravitacional, aclara la posible relación entre las características del campo gravitacional y la estructura geológica de la región, profundidad, dimensión, etc). Esta interpretación geológica de las anomalías de la gravedad se le denomina cuantitativa (Ipatenko, 1971).

En la interpretación cuantitativa se dejan establecidos Los factores probables que influyen en el campo gravitacional anómalo, teniendo en cuenta los revelados por otros métodos geofísicos si fueron utilizados en la región de investigación. Además se define la situación de los elementos geológicos estructurales o de otros cuerpos; la presencia de los cuales puedes suponerse por los resultados gravimétricos. Se deben realizar trabajos gravimétricos o aplicar otros métodos geofísicos con mayor grado de detalle (Ipatenko, 1971).

Las interpretaciones cuantitativas de las anomalías de la gravedad no siempre se efectúan, sino solamente en determinadas posiciones y condiciones con respecto al carácter de campo gravitatorio y de los factores geológicos que suscitan las anomalías de la gravedad (Ipatenko, 1971).

2.4. Etapas de desarrollo de los trabajos.

2.4.1. Primera etapa.

En esta etapa se determinó el área a estudiar y dentro de esta el sector específico en investigación, a la vez que se dieron los límites de la misma expuesto en la figura 1.1.

Se realizó la búsqueda, selección y revisión bibliográfica; con la obtención de información geológica y geofísica realizadas en el área con anterioridad. Se realizó una búsqueda bibliográfica. De esta manera se encontró una serie de trabajos que precedieron a esta investigación, los cuales aportaron conocimientos básicos para el desarrollo de la tesis. La información de la geología y la tectónica obtenida, fue brindada casi exclusivamente por datos de pozos que se encontraban en la zona de la Cuenca Central y es representativa de toda el área incluyendo el sector de interés. Los pozos fueron perforados por la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo y Gas Oriente (EPEPGO) durante levantamientos efectuados para la búsqueda y prospección de hidrocarburos, con profundidades que varían desde unos cientos de metros hasta miles de metros, donde se llegó a perforar 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 et al., 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.

También se propuso la estructura de la tesis, la cual consta de portada, resumen en español e inglés, índice, introducción, capítulo I (Características físico geográficas y geológicas de la región de estudio), capítulo II (Metodología y volumen de los trabajos proyectados), capítulo III (Presentación e interpretación de los resultados obtenidos), conclusiones, recomendaciones, anexos, y bibliografías utilizadas.

Nuestro trabajo no es más que un estudio del sur de La Cuenca Central, a partir de la información del levantamiento gravimétrico a escala 1: 100 000 que abarca el área de estudio. De esta forma nosotros realizamos el procesamiento e interpretación de las

anomalías gravimétricas, lo cual nos permitió la realización de un modelo tridimensional de la Cuenca central como estructura geológica y determinar los sectores más favorables dentro de esta, específicamente en su parte sur para los trabajos de prospección y exploración gasopetrolífera.

Para tener una idea del grado de estudio del lugar en cuanto a trabajos de este tipo anteriormente ejecutados, se analizaron varios trabajos realizados por algunas compañías extranjeras e institutos cubanos los cuales se relacionaron en el marco teórico conceptual.

2.4.2. Segunda etapa

Esta investigación se realiza a partir del levantamiento gravimétrico a escala 1: 100 000 de la Cuenca Central, contándose únicamente con el mapa de anomalías de Bouguer. Esto conllevó a la recuperación de una matriz digital obtenida a través de este (Batista, 2000), mediante la cual se realizaron diferentes transformaciones al campo pertinentes para la presente investigación.

Esta es una etapa superior en el desarrollo de la tesis, se realizó el procesamiento de todos los materiales geólogos- geofísicos existentes para el trabajo mediante el uso de determinados programas y software, dentro de estos tenemos Surfer[®] versión 8.01 – may 9 2002 (Surface Mapping System, Copyright^c1993- 2002, Golden Software, Inc), AutoCad Map[®] 2000 de Autodesk, Inc., Microsoft Excel, dxf2xyz 1.3 (convertidor), Microsoft Word, IMAG-PC versión 1.2, 1993, Geosoft (Geosoft Inc, 1992).

Para la recuperación de la matriz digital, en el mapa impreso se fijaron varios puntos con coordenadas (x, y) conocidas del mismo, las que sirvieron de puntos de control, además se perfeccionó el trazado de algunas isolíneas. Posteriormente con un scanner LEXMARK-X1130 se escaneó el mapa en sus diferentes partes, lográndose una imagen de cada una de ellas, con una resolución de 300ppi, las que se georeferenciaron en las coordenadas planas del sistema Cuba Norte utilizando los puntos de control.

La digitalización de tipo vectorial manual y rectificación de las isolíneas vectorizadas se realizó con el AutoCad Map[®] 2000 de Autodesk, Inc., asignándole a cada isolínea del mapa su valor del campo gravimétrico según el mapa original. Luego fueron importadas las isolíneas a 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 contiene

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[©]1993- 2002, Golden Software, Inc), utilizando como método de regularización por su funcionalidad el Kriging.

Con cada base de datos regularizadas se confeccionó el mapa de anomalías de Bouguer con características de representación semejantes 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.

Con el fin de realizar un estudio en 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 el procesamiento de datos geofísicos, donde se obtuvieron los mapas de Continuaciones Analíticas Ascendente (CAA) a las alturas de recálculo de 500 m, 1000 m, 1500m, 2000 m y 3000 m, algunos de estos mapas no fueron utilizados por no reflejar la influencia de las estructuras geológicas del medio en el comportamiento del campo.

Estos mapas fueron realizados con el objetivo de resaltar anomalías regionales del campo gravitatorio para determinar así el efecto de estructuras geológicas más profundas: fallas, pligues, diapiros de sal, contactos litológicos (Mirónov, 1977; Delgado, 1985; Cuevas et al., 1995; Cuevas et al., 2001; Pinto et al., 2002; Insua et al., 2004; Gómez et al., 2001); las que representan 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 et al., 2004; Cuevas et al., 1995).

Con esa base digital se realizaron también los mapas de gradientes horizontales mediante el uso del software Geosoft (Geosoft Inc, 1992), orientadas a resaltar las alineaciones que pueden estar relacionadas con zonas de contactos abruptos entre diferentes litologías existentes en el área y estructuras disyuntivas (Díaz et al., 1987; Batista, 1998; Blanco et al., 2000).

Los mapas de gradientes fueron representados como mapas de relieve sombreados (Díaz et al., 1987; Cuevas et al., 1995; Batista, 1998; Blanco et al., 2000). Este procedimiento se realizó en dos etapas, primeramente se generaron los mapas en Surfer® versión 8.01, y se procesaron utilizando 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 onda (Horn y Bachean, 1978). Para el procesamiento de este mapa se empleó el noreste y noroeste como dirección de iluminación artificial con una inclinación de 45 grados.

En la segunda etapa se determina la existencia o no del evento buscado, es decir, la posible existencia de fenómenos o evento (tectónicos o geológicos) no reconocibles en los mapas de contorno estándar (Díaz et al., 1987; Cuevas et al., 1995; Rivero et al., 2001). Por empleo de la existencia de alineaciones, se puede determinar fácilmente mediante la técnica de iluminación artificial. En este caso 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 Programa Surfer® versión 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 el 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, Continuaciones Analíticas Ascendente (CAA) y de relieve sombreado se realizó la interpretación cuantitativa a partir 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 zona por la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo y Gas Oriente (EPEPGO) donde se determinaron los espesores de acuerdo con los criterios estratigráficos planteados (Blanco, 1999). Para realizar el proceso de inversión 3D se siguió una metodología en la cual primeramente se definen los grupos o capas de rocas que conforman el modelo a priori (Gallardo et al., 2003; Batista y Pérez, 2005; Pérez et al., 2005).

En correspondencia con la posición 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 y 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. Este modelo se construyó utilizando los afloramientos de los diferentes tipos de rocas que integran cada capa, según el mapa geológico de la región anexo 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 estas se tomaron de acuerdo a los datos de los pozos perforados, en los que se consideran espesores de 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 consideró como un plano.

Con ayuda del software desarrollado por Gallardo et al., (2003) se realizó la inversión 3D utilizando una densidad de 2.2 g/cm³ para la cobertura sedimentaria, 2.56 g/cm³ para las secuencias vulcanógenas- sedimentarias, 2.60 g/cm³ para los cuerpos intrusivos, 2.46 g/cm³ para las rocas de la Asociación Ofiolítica, de 2.50 g/cm³ para las secuencias del Paleomargen de Bahamas y de 2.8 g/cm³ para el basamento metamórfico, con las cuales se obtienen los contrastes de capas siguientes: Capa 1/2 =- 0.36 g/cm³; Capa 2/3 =- 0.04g/cm³; Capa 3/4 =- 0.40 g/cm³; Capa 4/5 =- 0.04g/cm³; y Capa 5/6=- 0.30 g/cm³.

Para el proceso de inversión se empleo como factor de ajuste $\beta = -2$, el cual permitió obtener un modelo más cercano a lo esperado geológicamente.

Una vez realizada la inversión 3D se comparó el campo gravimétrico observado y se determinó un buen ajuste entre ambos. Posteriormente se construyeron mapas de profundidad y espesores de las capas analizadas en el contexto geológico de la región, los que se refieren al límite inferior de los grupos de rocas. 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.

2.4.3. Tercera etapa.

Esta etapa estuvo dedicada a la interpretación conjunta de los mapas obtenidos en la segunda etapa, mapa digital de anomalías gravimétricas, los mapas de continuaciones analíticas ascendentes a las alturas de recalcado 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 uno 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 finalizada 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.

2.5. Características petrofísicas

La región de estudio está conformada fundamentalmente por las siguientes unidades de rocas según el registro estratigráfico Campaniano-Maestrichtiano con escasas rocas carbonatadas, representando litológicamente por conglomerados, gravelitas, areniscas, aleurolitas tobáceas de cemento calcáreo. Las rocas arcillosas presentan esquistocidad incipiente y superficial de fricción pulida evidencia de eventos tectónicos que han afectado. En el Campaniano Superior aparecen una fase terrígena compuesta por conglomerados vulcanomícticos, areniscas vulcanomícticas, escasa argilitas. Los depósitos del Maestrichtiano están compuestos por facies terrígenas arcillosas conglomerados, areniscas, gravelitas, aleurolitas, areniscas de cemento calcáreo. En el Paleoceno aparecen facies terrígenas carbonatadas arcillosas. En el eoceno inferior están las facies terrígenas-arcillosas-carbonatadas representadas por conglomerados, gravelitas, areniscas, aleurolitas polimícticas, calcáreas arcillosas, calizas polimícticas organógenas, arcillas y en el eoceno medio aparecen secuencias terrígenas-carbonatadas-arcillosas. Aunque cercana a esta región se pueden encontrar rocas de la Asociación Ofiolítica y en pozo Jatibonico 78 se perforó parte de un intrusivo y el basamento metamórfico que aflora al suroeste como el Macizo Metamórfico Escambray (Millán, 1986). Cada una de estas litologías se caracterizan por presentar valores propios de densidades, por tal motivo esta sección comprende una

caracterización de las densidades como propiedad física de interés con respecto al objetivo de la investigación, donde se determinan los valores medios y límites de esta en las rocas del área de estudio. De la densidad dependerá el comportamiento del campo gravitatorio, esto conociendo que las mayores densidades corresponden a zonas de mayor concentración de masa y viceversa, lo que trae consigo un mayor o menor efecto de los cuerpos sobre la magnitud del campo (Mirónov, 1977).

Durante las campañas de exploración se han empleado los levantamientos geofísicos utilizando en la mayoría de los casos métodos gravimétricos, como es el caso del levantamiento gravimétrico a escala 1:100 000 (Iturralde- Vinent, 1986), tomado como argumento para esta investigación. Todo lo tratado en el trabajo incluyendo la petrofísica, nos permitió seleccionar la gravimetría como la más óptima para los fines previstos, además aporta elementos en el procesamiento e interpretación de los datos geofísicos y permiten establecer y caracterizar determinadas regularidades geológicas presentes en la región de estudio.

Teniendo en cuenta estos elementos, en esta investigación, la caracterización petrofísica se limita a la propiedad de la densidad de las rocas existentes en el territorio estudiado. Esta define las propiedades del campo gravitatorio, cuyo origen está en las masas de las rocas del sustrato.

Las propiedades físicas de las rocas varían de un tipo litológico a otro, e incluso dentro de un mismo tipo litológico, esto depende del grado de mineralización y alteración que tengan los mismos (Iturralde- Vinent, 1986). A continuación se describen las densidades de los distintos tipos de roca obtenidas durante el levantamiento del bloque CAME III.

Rocas del complejo efusivo- sedimentarias del Arco de Islas Volcánico del Cretácico.

Estas rocas constituyen el mayor por ciento del área aflorada del Arco de Islas Volcánico del Cretácico en la 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 et al., 1986) y presentan las siguientes características petrográficas:

Formación Caobilla (Iturralde- Vinent, 1978).

Esta formación abunda fundamentalmente en el norte de la región y en la zona de Ciego de Ávila, presenta valores 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 solo 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, esta bastante distribuida en territorio; presenta valores medios de densidad del orden de 2.52 g/cm^3 y está compuesta fundamentalmente por areniscas, gravelitas, tobas, tufitas, lavas dacíticas 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 Cajimuro.

Es una formación efusivo- sedimentaria bastante distribuida en 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:

- Andesitas: 2.75 g/cm^3
- Basaltos: 2.83 g/cm^3
- Tobas: 2.70 g/cm^3
- Aleurolitas tufogénicas: 2.69 g/cm^3
- Lavas aglomeradas: 2.58 g/cm^3
- Lavas andesititas: 2.76 g/cm^3
- Porfirita andesito- basáltica: 2.76 g/cm^3
- Porfirita andesitita: 2.70 g/cm^3

Complejo de rocas sedimentarias.

- 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: 2.56 g/cm^3

- Margas: 2.12 g/cm^3

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

Formación Duran (Iturralde- Vinent et al., 1981).

Esta formación esta 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 et al., 1981).

Es una formación del Cretácico Tardío y yace concordantemente a la anterior, su corte lo componen 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 serpentínizadas 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 litologías pertenecientes a los sedimentos generados en la colisión Mesozoico- Terciaria.

Se puede inferir que las mayores anomalías positivas del campo gravimétrico están relacionadas con las zonas de exceso de masa, debidas a la presencia de granitoides. Mientras que las zonas con los menores valores de anomalías negativas están relacionados con zonas de defecto de masa correspondiente a las rocas sedimentarias. En la tabla 2.1.a y 2.1.b, de densidades se describen los principales tipos de rocas que conforman la región con los valores promedios y límites de las densidades.

Tabla 2.1.a. Valores promedio y límites de densidades de las sedimentarias

	Media	Límite		Media	Límite
<i>*Rocas sedimentarias</i>			<i>*Rocas sedimentarias</i>		

Suelos	2	1,5- 2,4	<i>Brechas polimícticas</i>	2,33	——
Arcillas y argilitas	2,3	1,6- 2,8	<i>Dolomitas densas</i>	2, 75	——
Aleurolitas	2,31	2,0- 2,4			
Areniscas	2,35	2,1- 2,8			
Margas	2,12	2- 2,6			
Calizas	2,46	2,1- 2,54			

Tabla 2.1.b. Valores promedio y límites de densidades de las litologías ofiolíticas, efusivo-sedimentarias y magmáticas

<i>*Complejo ofiolítico</i>	----- -----	-----
Dunitas y peridotitas	3,2	2,8- 3,6
*Rocas efusivo - sedimentarias	----- -----	-----
Basaltos	3,0	2,6- 3,3
Tobas	2,70	-----
Tobas andesíticas	2,76	-----
Andesitas	2,75	-----
<i>*Rocas Magmáticas</i>	-----	-----
<i>Garbos y diabasas</i>	2,9	2,7- 3,3
<i>Granodioritas</i>	2, 64	-----
Plagiograníto	2, 62	-----

CAPÍTULO III. REPRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

3.1. Introducción.

3.2. Interpretación cualitativa.

3.3. Interpretación cuantitativa.

3.1. Introducción.

En el desarrollo de este capítulo se realizó la caracterización geofísica del sector de estudio a partir del procesamiento de la información gravimétrica. De esta manera se realiza toda la interpretación a partir de los mapas de continuaciones analíticas, gradiente horizontal, mapa gravimétrico y tectónico, mapas de los pisos de los diferentes grupos rocosos y sus correspondientes perfiles, así como los mapas de modelos calculados teniendo en cuenta los pozos existentes; todo este conjunto de mapas y perfiles obtenidos representan en esta investigación los resultados de la misma.

Para un mejor análisis e interpretación de la información en dicho sector se establecieron las particularidades geológicas de los diferentes tipos de rocas. Para esto un papel importante lo jugaron las transformaciones realizadas al campo y el proceso de inversión gravimétrica. La nitidez de la interpretación fue en gran medida garantizada por los datos extraídos de algunas perforaciones realizadas en este territorio. La relación de estos datos con la información gravimétrica y su correlación con los datos geológicos permitió la obtención de un modelo final que refleja con bastante claridad la estructura más probable del sector de cuenca. De esta manera se establecen seis pisos estructurales: sedimentos, volcánicos, intrusivos, ofiolitas, Paleomargen y basamento metamórfico.

3.2. Interpretación cualitativa.

Esta interpretación se realizó con el fin de caracterizar el medio, teniendo en cuenta el carácter de las anomalías, debido a que la génesis de las mismas está relacionada con la presencia en subsuelo de cuerpos y estructuras geológicas y tectónicas, además de las conexiones existentes entre ambas.

3.2.1. Interpretación del mapa de Δg (modelos observados y calculados).

El campo gravimétrico de la región de estudio se debe a valores de densidad que pueden variar desde los 2.75 g/cm³ hasta los 2.37 g/cm³, según los datos aportados por los

levantamientos realizados en el área de estudio (Iturralde- Vinent et al., 1986). Este campo se caracteriza por presentar una distribución algo homogénea en cuanto a la disposición de las anomalías positivas y negativas. Hacia el oeste del sector aparece una franja alargada de las anomalías negativas con dirección NE- SW, aquí los valores se encuentran en el rango de -3 mGal a -10 mGal y al este del sector la franja principal de anomalías negativas presenta una dirección NW- SE, esta franja se halla situada entre dos porciones del oriente del sector que presentan picos negativos de igual valor de intensidad del campo, es decir -10 mGal. Las anomalías positivas están mayormente localizadas en el centro del área y separando las anomalías negativas mencionadas de otras de menores dimensiones dispuestas mas o menos paralelas con respecto a las dos franjas de mayor orden. Si trazáramos una diagonal en el mapa de Δg con un rumbo NE- SW, podemos apreciar que de forma general el sector de más interés por presentar la mayor difusión de anomalías negativas, se corresponde con la parte occidental. Además de las dos franjas negativas se encuentran dispuestas perpendicularmente una con respecto a la otra, la de extensión espacial más amplia es la del sector occidental. El hecho de que estas franjas estén separadas por otra caracterizada por valores positivos del campo que se encuentran en el orden de los 8 mGal y 9 mGal aproximadamente, además de la posición perpendicular de una respecto a la otra, indican la presencia de una posible falla con traza que se refleja en el comportamiento superficial del campo. (Figura 3.1.)

Según las observaciones realizadas en los mapas de anomalías de Bouguer de los modelos calculados tanto con pozos como sin pozos, y haciendo una comparación de estos con el mapa del modelo observado con pozos, se puede decir que las diferencias entre ambos no son tan significativas. Esto indica la representatividad de los modelos y la exactitud de las mediciones.

En el caso del modelo calculado sin pozos (Figura 3.1.a) la intensidad de los picos positivos y negativos del campo gravimétrico toma sus menores valores, acercándose más al modelo observado. Esto es lógico si se tiene en cuenta que la evaluación se realiza sin tomar en cuenta la composición en profundidad de los cuerpos que influyen en el comportamiento del campo. En este mapa los mayores valores alcanzan de -7 mGal a -8 mGal en los topes negativos y de 7 mGal a 8 mGal en los positivos. Las anomalías positivas están dispuestas en los bordes de las franjas caracterizadas por valores negativos, según se había

comprobado anteriormente. El cambio brusco de la intensidad del campo en estos límites deja claro que los gradientes son relativamente altos.

En este caso de análisis ocurre que en la porción más noroccidental del sector de estudio hay una disminución considerable de la intensidad de un pico positivo, pues en el modelo observado este toma valores de 10 mGal y aquí solo llega hasta 5 mGal, asimismo el área abarcada por este adquiere un ligero aumento. Hacia el norte- centro del sector de estudio también el valor positivo del campo gravimétrico disminuye con similares características.

Juzgando por el carácter de las curvas que encierran a los picos de mínimos gravimétricos, podemos decir estos posibles cuerpos geológicos tienen formas de franjas alargadas y dirección noreste- suroeste para los de mayores dimensiones, noroeste- sureste para los de menores dimensiones. Estos deben corresponderse en profundidad con litologías sedimentarias y Vulcano- sedimentarias según el registro estratigráfico (Millán, 1986a).

Por otro lado los picos de máximos gravimétricos las curvas que los encierran generalmente tienen formas circulares y semicirculares. La dirección general de estos en todo su conjunto es noreste- suroeste y se distribuyen por todo el centro del sector estudiado. No obstante podemos encontrar algunos aislados hacia la porción noroccidental y nororiental en contraste siempre con las franjas de valores negativos. Nosotros atribuimos tal comportamiento a las rocas ácidas intrusivas que se hallan en toda la zona central de Cuba aflorando por sectores y que de hecho en la zona centro oriental del país tienen sus representantes en superficie, igualmente a rocas densas del Paleomargen que pueden estar deformadas en profundidad creando una concentración de masas.

Para el modelo calculado con pozos (Figura 3.1.b) no hay cambios significativos con respecto al caso anterior, pero sí un suave incremento de la intensidad de las anomalías, preferentemente para los valores negativos. El orden de los valores es de -10 en picos de mínimos y 8 en máximos. Por lo demás resalta las mismas particularidades que el caso anterior, sin embargo es el más aceptado pues la información es de mayor confiabilidad tomando como base que se calculó incluyendo la información de la geología superficial, datos de pozos y el comportamiento del campo gravimétrico.

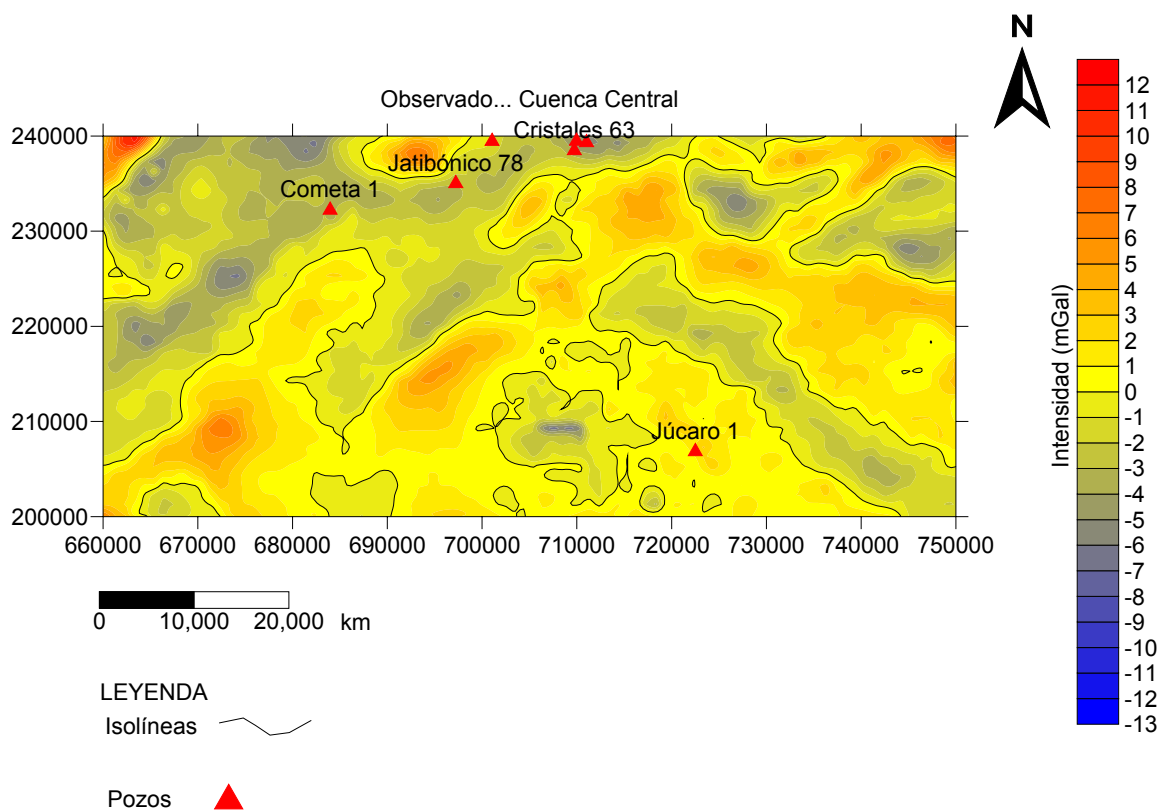


Figura 3.1. Mapa de anomalía de Bouguer. Modelo observado.

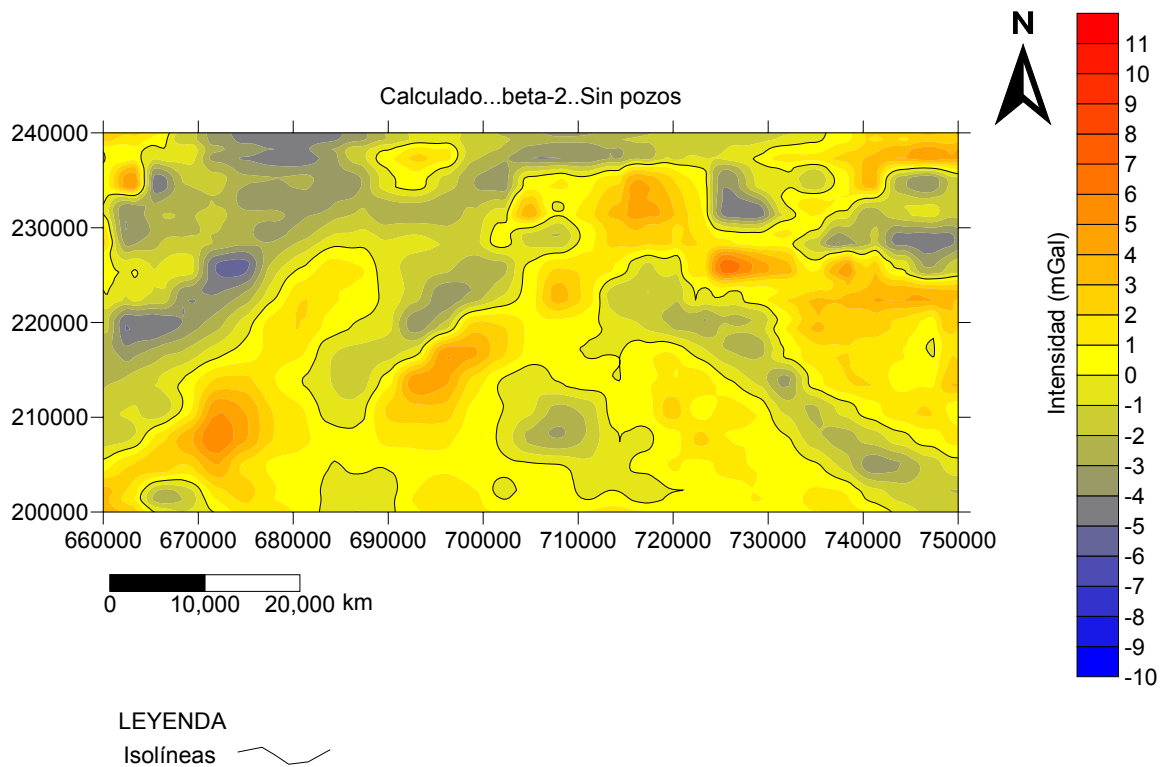


Figura 3.1.a Mapa de anomalía de Bouguer. (Modelo calculado sin pozos).

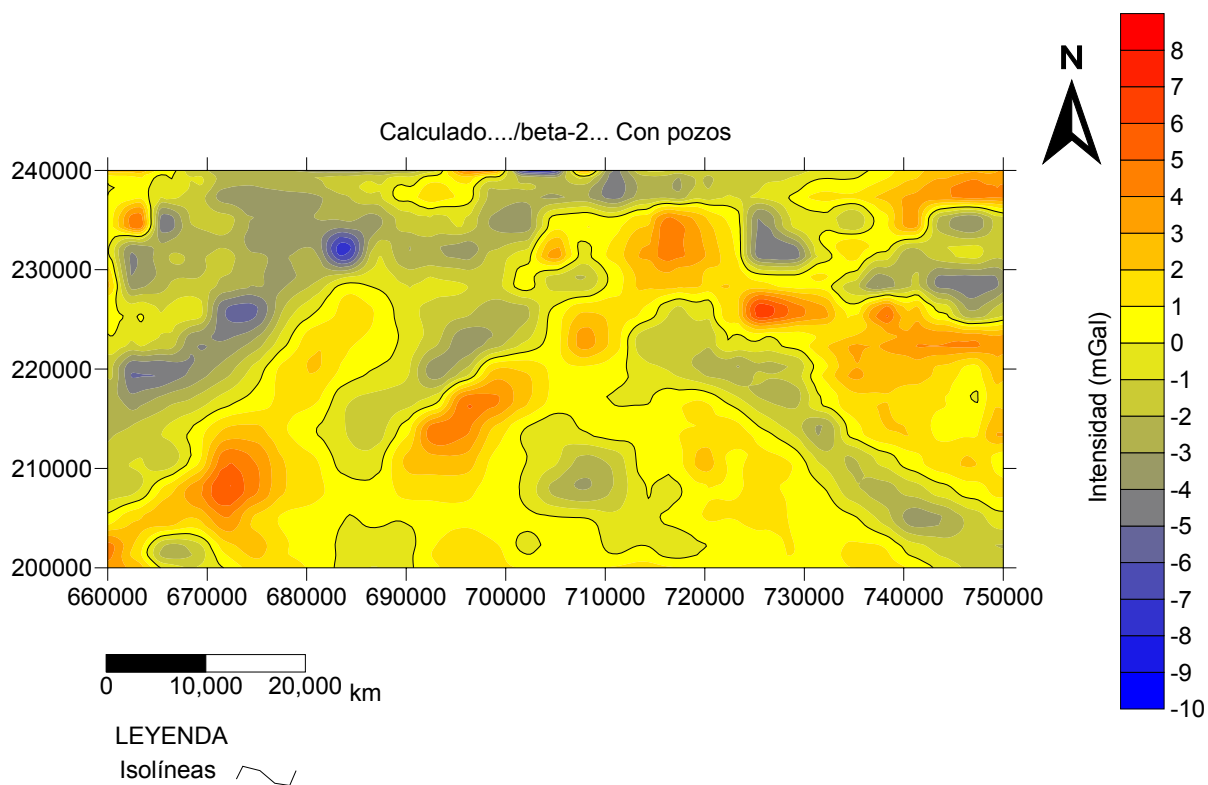


Figura 3.1.b. Mapa de anomalía de Bouguer. (Modelo calculado con pozos).

En el mapa de anomalías de Bouguer modelo observado existen una serie de anomalías negativas del orden de los -4 mGal, ubicadas para la parte centro- sur del sector de estudio. Estas anomalías son de muy poca dimensión y en el mapa del modelo calculado con pozos desaparecen completamente. La mayor complejidad está presente en el área en la dirección de una diagonal que se trazara con dirección noreste- suroeste, donde existen una gran cantidad de contactos entre máximos y mínimos gravimétricos. Por tal motivo en esta zona aparecen los gradientes más altos que se corresponden con los mayores contrastes de intensidades del campo.

Esta zona de altos gradientes está relacionada posiblemente con los límites de la cuenca tensional desarrollada durante los procesos de obducción- colisión Mesozoico- Terciario entre el Arco de Islas Volcánico del Cretácico y el Paleomargen de Bahamas, Cuenca Central, donde los picos negativos se deben a la composición del substrato rocoso. Según los registros estratigráficos, las facies predominantes son terrígeno- arcillosas (Sánchez-Arango, 1977; Millán, 1986a, 1987b, 1989).

El contraste abrupto entre los mínimos y máximos gravimétricos, reflejando zonas de gradientes elevados con dirección noreste- suroeste y en segundo orden noroeste- sureste, asegura 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. (Millán, 1987b, 1989; Draper y Barros, 1994; Blanco y Figueras, 1996). De igual manera nosotros asociamos la zona de gradientes elevados con dirección noroeste- sureste a posibles estructuras disyuntivas que corresponden al sistema de falla La Trocha, pero como estructuras de segundo orden por su posicionamiento perpendicular a las direcciones de dislocación principal.

En general la alternancia de valores positivos y negativos, así como las distintas direcciones de los principales gradientes, evidencian los procesos de plegamiento, fallamiento y sobrecorrimento que están involucrados en el desarrollo de esta cuenca. La clasificación de la misma es de tipo emigraven. Por esto muchos de los aspectos reflejados en el comportamiento del campo, al igual que los procesos mencionados arriba están interconectados con el desarrollo de bloques tectónicos de menor escala, de los cuales algunos pueden haber sufrido ascenso y otros descensos dentro de la cuenca, pero confinados siempre a los límites establecidos por la tectónica compresiva.

3.2.2. Interpretación de la Continuación Analítica Ascendente (C.A.A) del Campo Gravimétrico.

El recálculo del campo gravimétrico en el semiespacio superior se llevó a cabo preliminarmente para varios niveles y se notó que se mantenía todas las anomalías presentes con la correspondiente disminución de intensidad producto al alejamiento de la fuente que las originaron. A partir de los 500 m se aprecia una eliminación progresiva de los valores anómalos que se correspondían con la presencia en el subsuelo de cuerpos pequeños cercanos a la superficie. Por lo que se decidió escoger los dos primeros niveles de recálculo (500 m, 1000 m) para llevar a cabo la interpretación de la C.A.A. En el caso de los 1500 m en adelante el comportamiento del campo gravimétrico no tiene ninguna influencia en la CAA, revelándose según estos mapas una ausencia total de contrastes de densidades para estas profundidades; por tal razón se decidió obviar la representación de los mismos.

- Altura de recálculo a los 500 m.

Al realizar la C.A.A del campo gravimétrico a este nivel se obtiene el mapa que se ilustra en la figura 3.2., que va reflejando la componente regional del campo gravimétrico pero en este caso a un nivel superior, por lo que resalta el efecto gravimétrico de las estructuras o cuerpos geológicos más profundos cuyo efecto gravitatorio prevalece en la medida que se eliminan las anomalías residuales debidas a los cuerpos someros, es decir, aun se observan contrastes a esta profundidad entre cuerpos que pueden constituir el grupo de rocas de interés en este análisis (mínimos) y otras cuyos valores descartan su importancia desde el punto de vista del petróleo.

Las anomalías negativas de la porción noroccidental y nororiental continúan reflejándose en este mapa con un ligero aumento de nitidez y mejor definición, a pesar de haber disminuido su intensidad y gradiente. Los valores negativos se encuentran en el rango que va desde los -0,5mGal hasta -2,5 mGal, es decir que a pesar de estar un poco mejor delimitados los cuerpos poco densos, la posible área que estos ocupan a la profundidad de 500 m es más precaria en cuanto a los picos de menores intensidades. Sin embargo el área general de todo lo que se puede considerar como valores bajo del campo sigue siendo equivalente con la observada en el mapa de anomalías de Bouguer de los modelos calculados. En el límite noroccidental del sector aparece una anomalía negativa algo acentuada, lo que se ajusta a una zona deprimida que se puede deber a la posibilidad de un contacto brusco, pues este resaltamiento aparece sucedido de otra anomalía positiva que puede estar relacionada la parte axial del Arco de Islas Volcánico del Cretácico (Iturralde- Vinent, 1998). En la misma dirección de estas anomalías se pueden observar una serie de anomalías más pequeñas que les siguen y que pudieran formar parte de un solo cuerpo que ha sido desmembrado por la tectónica.

La gama espectral de las anomalías positivas ha experimentado una disminución mucho mayor, pero tanto en este caso como en los negativos se han definido mucho mejor la formas de los cuerpos responsables de tal disminución o por lo menos la forma de los centros exactos de mayores y menores intensidades a la altura de transformación establecida. Aquí el valor máximo del campo gravimétrico es de 1,5 mGal, distribuido según pequeños cuerpos algo densos dispuestos generalmente hacia el norte y noreste del área, pero aparentando ser intrusiones de rocas densas dentro de todo un conjunto de baja densidad a esta altura de recálculo. Es posible su relación con rocas graníticas que

posiblemente se encuentren como pequeños cuerpos encajados a estos intervalos de profundidad o concentraciones de masas provocadas por deformaciones debidas a la elevación de algunos sectores internos a la cuenca con respectos a otros.

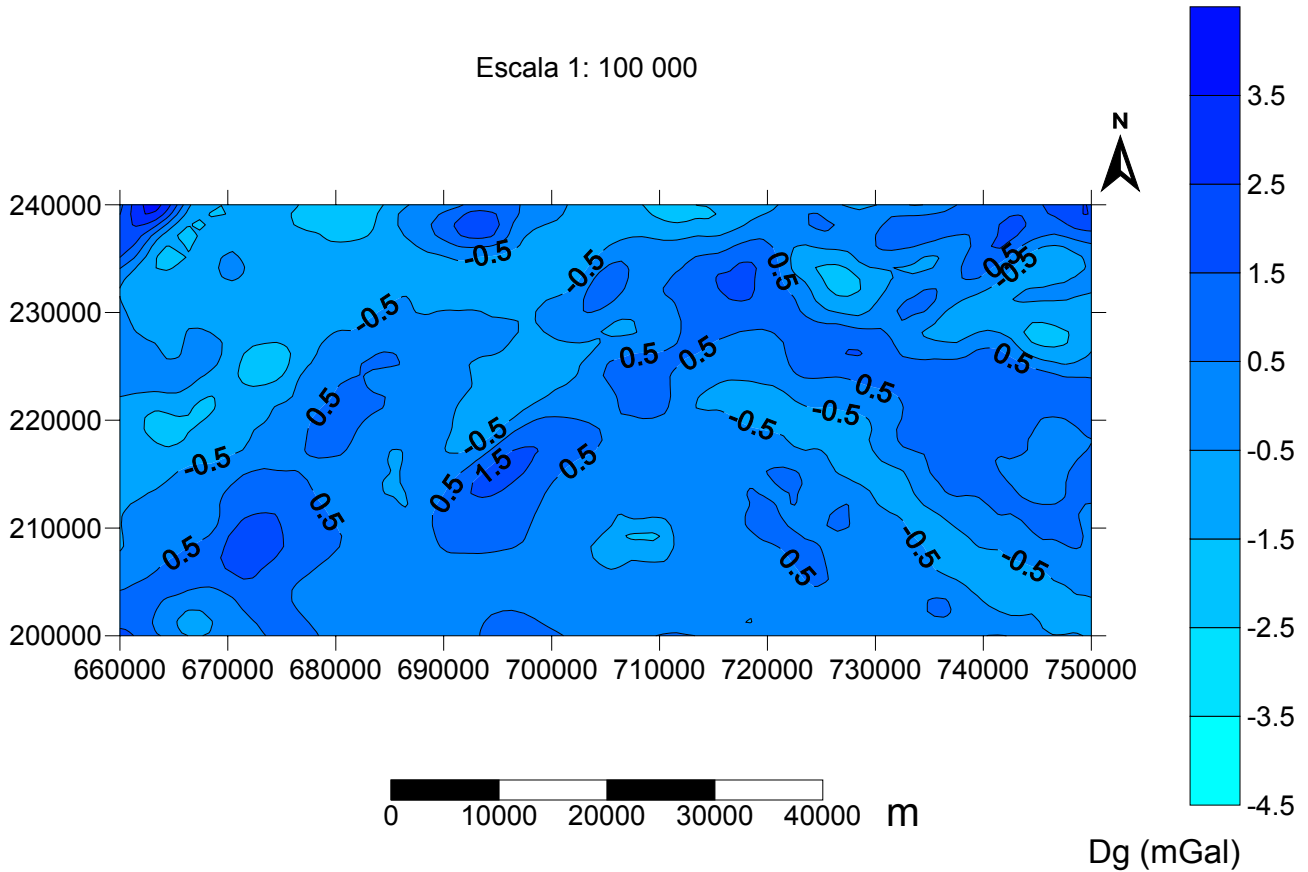


Figura 3.2. Mapa de CAA a los 500 m.

- Altura de recálculo a los 1000 m.

Al realizar la continuación analítica del campo gravimétrico a este nivel también se refleja la componente regional del campo pero en este caso a un nivel superior, donde parece resaltado o disminuido el efecto de las estructuras que aparecían en la continuación analítica anterior o surgen nuevas anomalías (Figura 3.2a).

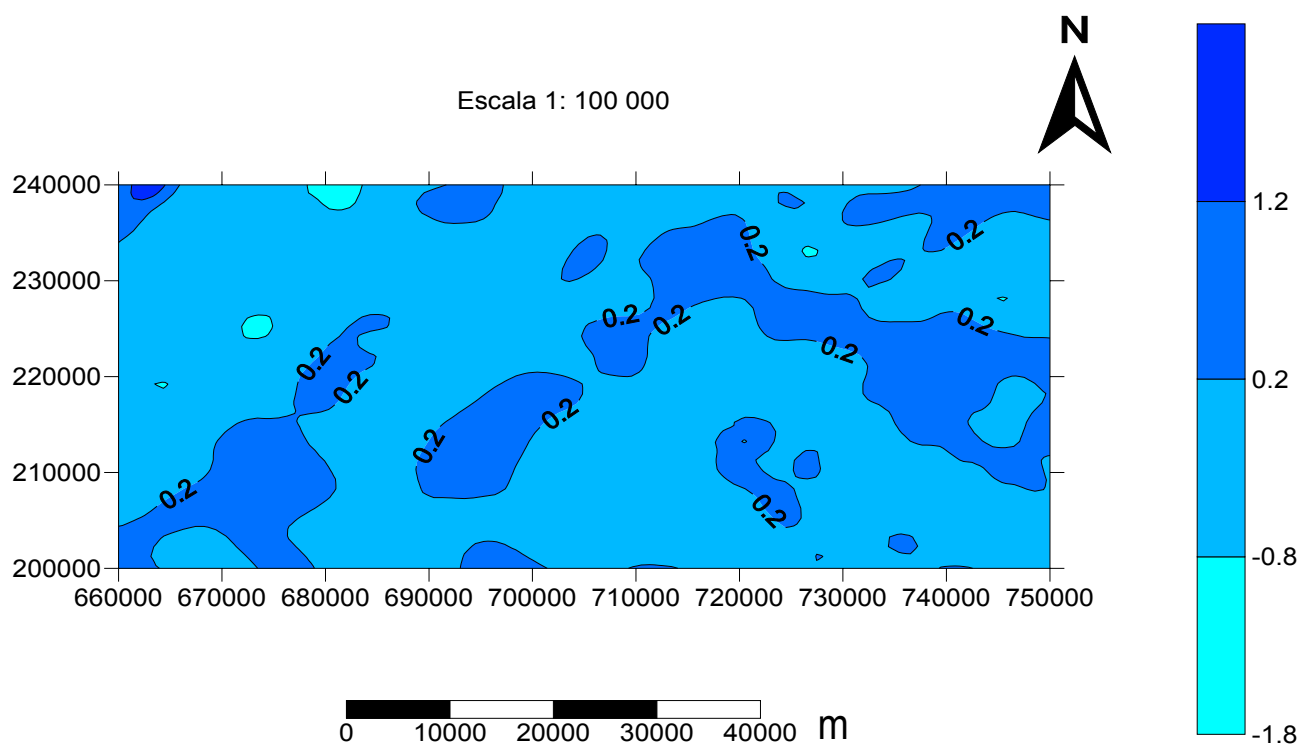


Figura 3.2.a. Mapa de CAA a los 1000 m.

En esta transformación observamos que las anomalías negativas que veíamos en el caso anterior con valores más bajos en la gama de intensidades de -2,5 mGal se pierden completamente y solo se observan dos anomalías en los mismos sectores del nivel 500 m con valores de -1,8 mGal que se correspondería con es espectro de -3,5 mGal del caso anterior, esto no indica otra cosa salvo la presencia de una parte del mismo cuerpo de menor dimensión areal, por el carácter de las isolíneas que las encierran a una profundidad de aproximadamente 1000 m. El contraste a este nivel de forma general es muy pobre y evidencia el paso gradual a un cuerpo más extenso y homogéneo. Prácticamente no hay contrastes de densidades. Hacia el noreste solo se observa una anomalía negativa muy pequeña de -1.8 mGal que a los 500m es de mayores dimensiones, pero en el rango de los -3.5 mGal. El hecho de que los cierres de las isolíneas de los picos de la gama de valores ocupen aquí menor área indica que el mismo cuerpo a esta altura se encuentra a una profundidad donde el espesor de la porción menos densa cada vez se hace más fino. El único pico negativo del campo presente en el centro y algo al sur del sector para esta altura de transformación desaparece totalmente, lo que nos habla de la inexistencia de contraste o cuerpo alguno.

3.2.3. Interpretación de los mapas de gradientes.

En el caso de los mapas de gradientes la interpretación se llevó a cabo a partir de los mapas de relieves sombreados, obtenidos a partir de estos. Para ello se iluminaron con una dirección NE y NW, tanto para el gradiente en las (X) como en las (Y) con un ángulo de 45° . La información geológica fue superpuesta a estos mapas, lo que permitió la confirmación de algunos sistemas de fallas reportados anteriormente.

Alineaciones de gradientes considerables son observadas en estos mapas. Según se puede observar en estos mapas las fallas de dirección NE- SW comprendidas en el sistema de fallas La Trocha quedan reflejadas con bastante nitidez. Sin embargo existen asimismo estructuras de este tipo que no fueron reveladas anteriormente o que simplemente no se tuvieron en cuenta. Las iluminaciones artificiales realizadas a los mapas de relieve sombreado de los gradientes del campo gravimétrico descubren sistemas de fallas en todos los casos expuestos, pero principalmente cuando la iluminación es del NW, en este caso las estructuras reveladas presentan por lo general dirección SE- NW, es decir, prácticamente perpendicular a las estructuras ya conocidas. Los datos brindados por estas estructuras garantizan una mejor delimitación estructural del sector de cuenca estudiado, incluso sabiendo que en vez de fallas pudieran ser contactos litológicos.

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

En el mapa de relieve sombreado para las (X) con una iluminación desde el noreste (Figura 3.3.), se percibe hacia el centro del área una estructura lineal de rumbo NE- SW que se corresponde con el sistema La Trocha ya reportado. Por otra parte cabe señalar que esta estructura de carácter regional no es continua como se ha representado hasta ahora, sino que está dividida en tramos desplazados unos con respecto a otros, producto a la intersección de este por un segundo sistema de fallas de dirección NW- SE, percibiéndose la mayor dislocación al este del área. Este sistema reportado por el nuevo procesamiento de datos, tiene a su vez una trayectoria truncada y según indica el mapa la disección del mismo está debida a la acción del sistema anteriormente comprobado. El hecho de que ambos sistemas estén interconectados desmembrándose entre ambos, deja claro que la formación de estos fue simultánea y a la par con el desarrollo de la Cuenca Central en el Cretácico-Terciario. Tenemos también reflejado en el mapa una serie de pequeñas estructuras de gradientes algo elevados, orientadas mayormente hacia el noroeste que no son de gran

importancia, no obstante el haberlas revelado en esta investigación permite afirmar el ambiente compresivo en que se generó el sector de cuenca estudiado y en definitiva la Cuenca Central cubana.

La iluminación desde el noroeste en (x) (Figura 3.3.a) no difiere mucho de lo visto anteriormente, se reflejaron nuevas particularidades geológicas, pero en cuestión no pasan de ser estructuras de altos gradientes que no se habían reportado anteriormente, estas aparecen en la porción sureste. Aquí a diferencia del caso anterior todas las alineaciones están orientadas hacia el NE, tanto las nuevas como las que se corresponden con los sistemas fallas La Trocha y Zaza- Tunicú. Es importante destacar que el número de alineamiento en esta dirección de iluminación es mucho mayor, por lo que a pesar de haber existido esfuerzos de diferentes direcciones sincrónicos, los de esta dirección pudieron haber prevalecido por encima de los de cualquier otra y de ahí el carácter más regional de estas estructuras.

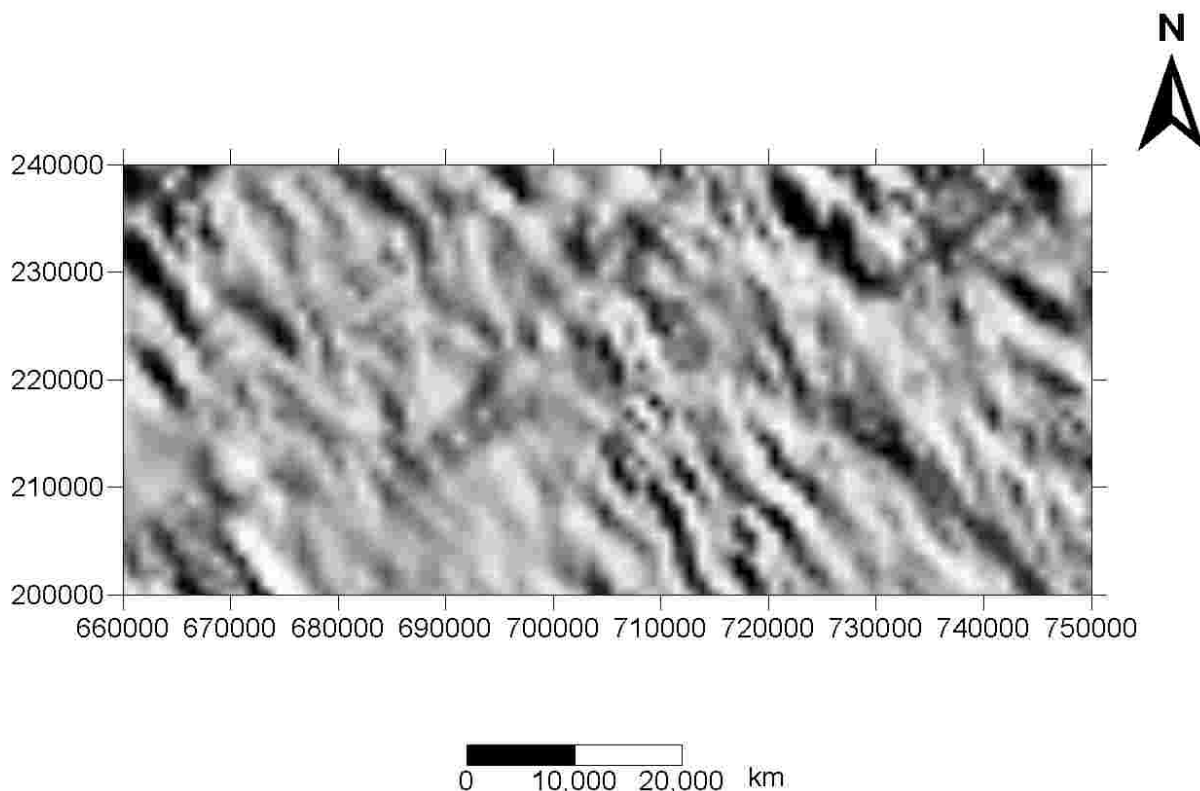


Figura 3.3. Mapa relieve sombreado del gradiente horizontal (x), con iluminación NE.

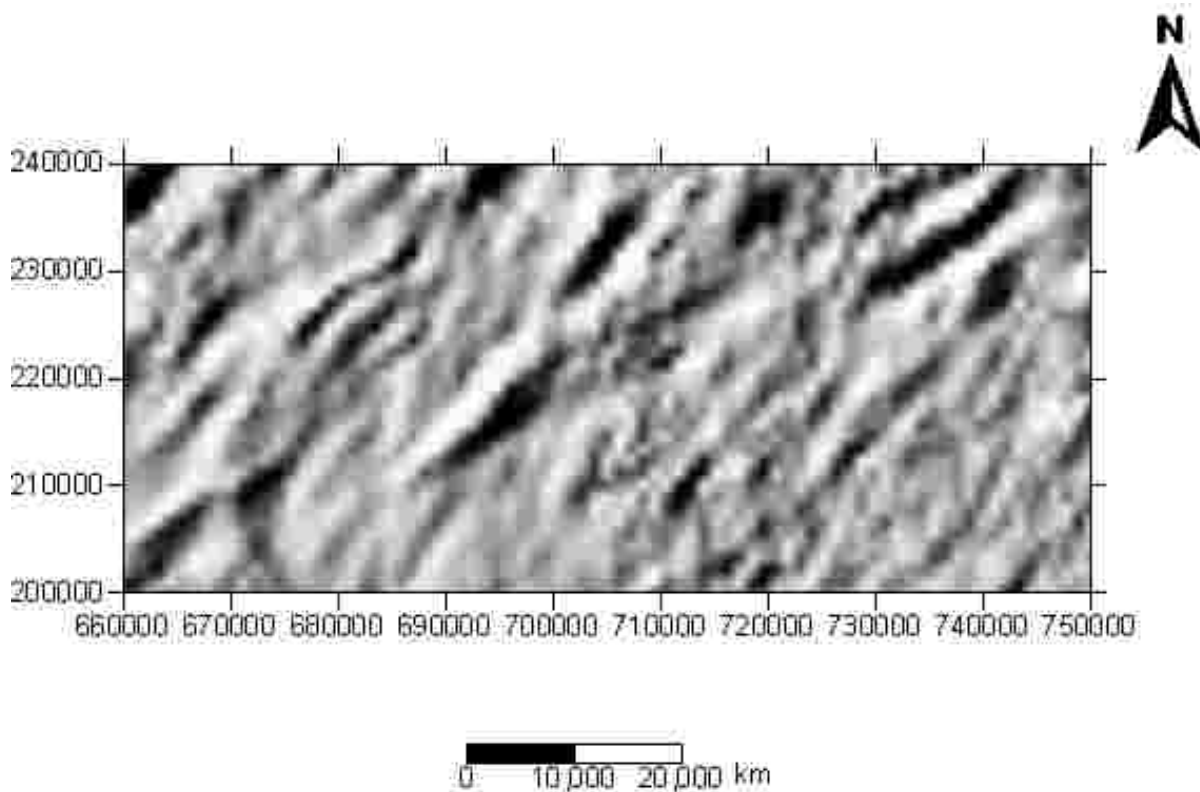


Figura 3.3.a. Mapa de relieve sombreado gradiente horizontal (x), con iluminación NW

Interpretación de los mapas de relieve sombreado en la dirección y (Δg_y).

La confección de mapas de relieve sombreado en la dirección de (Y) con iluminaciones NE y NW trae consigo una mayor seguridad en lo planteado a partir de los mapas anteriores. En estos casos tenemos que para la iluminación NE aparecen reflejadas las mismas estructuras que en el caso de (X) con igual dirección, pero aquí las alineaciones mejor observadas son las que tienen orientación noroeste. En este mapa la porción que presenta gradientes más pronunciados está en la parte más nororiental del área de estudio.

Desde el NW se aprecian nuevamente el conjunto de alineaciones vistas para el mapa de relieve (X, con dirección NW). No se aprecian nuevas regularidades, pero se puede comprobar un vez más los resultados arrojados por los otros mapas interpretados. Estos dos mapas se representan por la similitud de los mismos con los dos mapas anteriores en el anexo 3.

La interpretación cualitativa preeliminar de los mapas de gradientes arrojó nuevos resultados de interés, como fueron la propuesta de nuevos sistemas de lineamientos, comprobación de

algunos ya existentes según el mapa geológico. Estos resultados serán en parte representados como componentes del modelo que se elaborara más adelante.

3.3. Interpretación cuantitativa.

3.3.1. Interpretación de los mapas de espesores y potencias de las capas.

La interpretación cuantitativa se realiza una vez obtenidos los mapas de espesores y profundidad de las distintas capas de la región de estudio. En la misma se revelan los rasgos geológicos de la estructura profunda del sector de cuenca. Un papel esencial lo tuvo la interpretación cualitativa preeliminar realizada a los mapas de los modelos gravimétricos del campo observado y calculado, teniendo en cuenta o no la información de los pozos y la geología superficial.

La inversión tridimensional de los datos gravimétricos además de permitir la generación de los mapas de profundidades y espesores para las capas de la cobertura sedimentaria, las secuencias vulcanógenas sedimentarias pertenecientes al Arco de Islas Volcánico del Cretácico, intrusivos de edad Cretácica, litologías de la Asociación Ofiolítica, secuencias del Paleomargen de Bahamas y el basamento metamórfico.

La capa de las secuencias sedimentarias presenta sus mayores profundidades hacia la parte noroccidental del área, donde llegan hasta 2.2 km (figura 3.4.), igualmente toda el área central y sur se caracteriza por presentar profundidades de sedimentos que van desde los 0.4 km hasta los 1.5 km de profundidad, estos valores también están presentes en el extremo más nororiental del mapa. Para el noreste del sector de estudio esta capa presenta sus menores profundidades, aquí estas alcanzan solo 0.4 km como máximo. De igual forma en el extremo más noroccidental las profundidades a las que llegan los sedimentos no sobrepasa los 0.4 km.

La figura 3.5 muestra el mapa de profundidad del piso de las secuencias vulcanógenas sedimentarias pertenecientes al Arco de Islas Volcánico del Cretácico. En este se puede ver que las mayores profundidades de estas secuencias son del orden de los 5.0 km y están localizadas hacia la parte centro- norte del mapa. Para la parte centro- occidental también aparecen profundidades significativas de estas secuencias, tomando valores de 4.0 km.

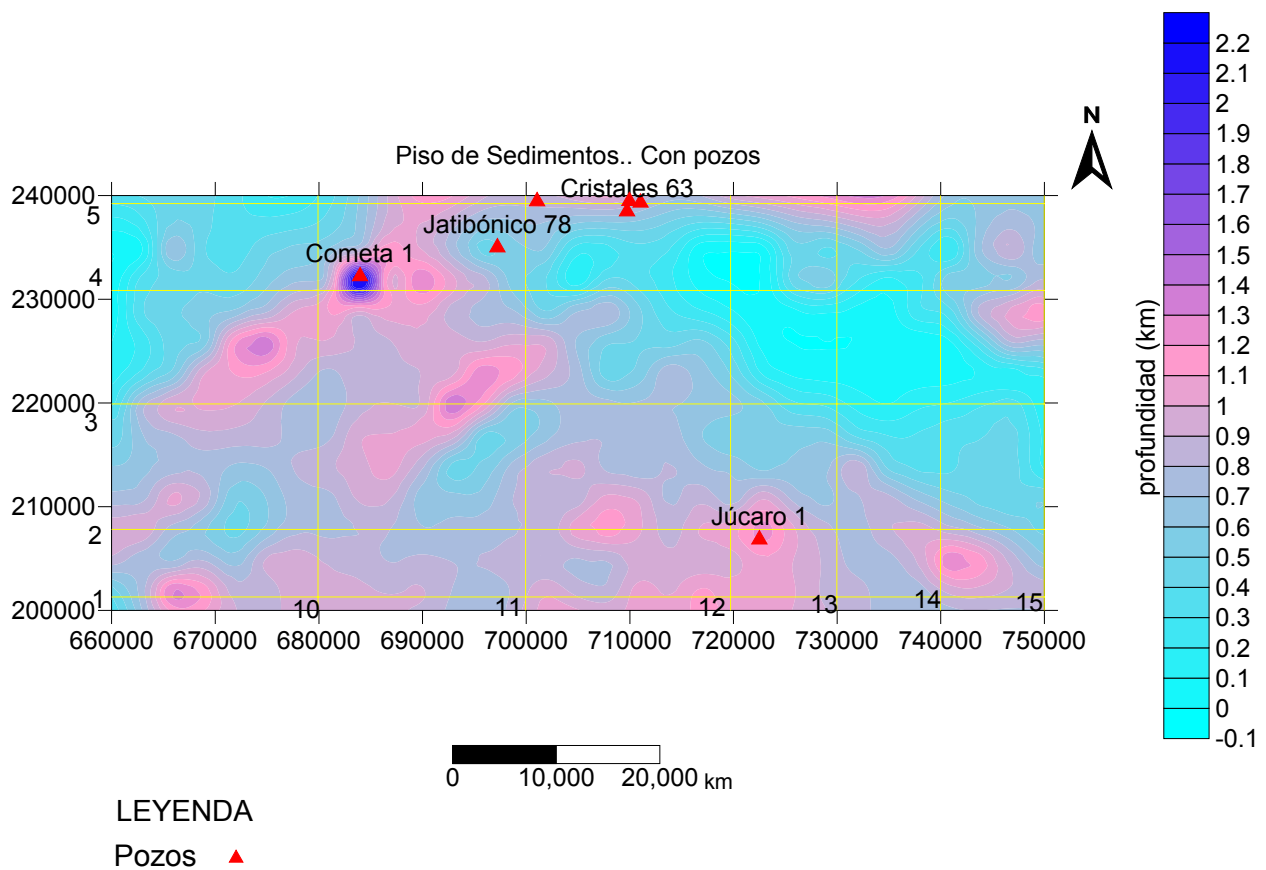


Figura 3.4. Mapa de profundidad de las secuencias sedimentarias.

Siguiendo la escala de profundidades toda la zona centro- sur y suroriental del mapa presentan profundidades que van desde 1.0 km hasta 3.6 km aproximadamente. Las menores profundidades se presentan en pequeñas porciones del mapa ubicadas en los extremos noroccidental y nororiental, quedándose por debajo de 1 km de profundidad.

El piso de los intrusivos ácidos (Figura 3.6.) toma máximas profundidades hacia el noreste del área, con un valor de 7.3 km. Sus menores valores están en los extremos noroccidental, y nororiental inferiores a los 4.0 km. En el extremo nororiental estos valores bajos de profundidad se encuentran inmediatamente sucediendo a los valores más altos de la profundidad de estas rocas en su límite sureste, describiendo una forma circular bien definida que nos habla de un evidente contacto litológico con otro tipo litológico predominante en esta porción.

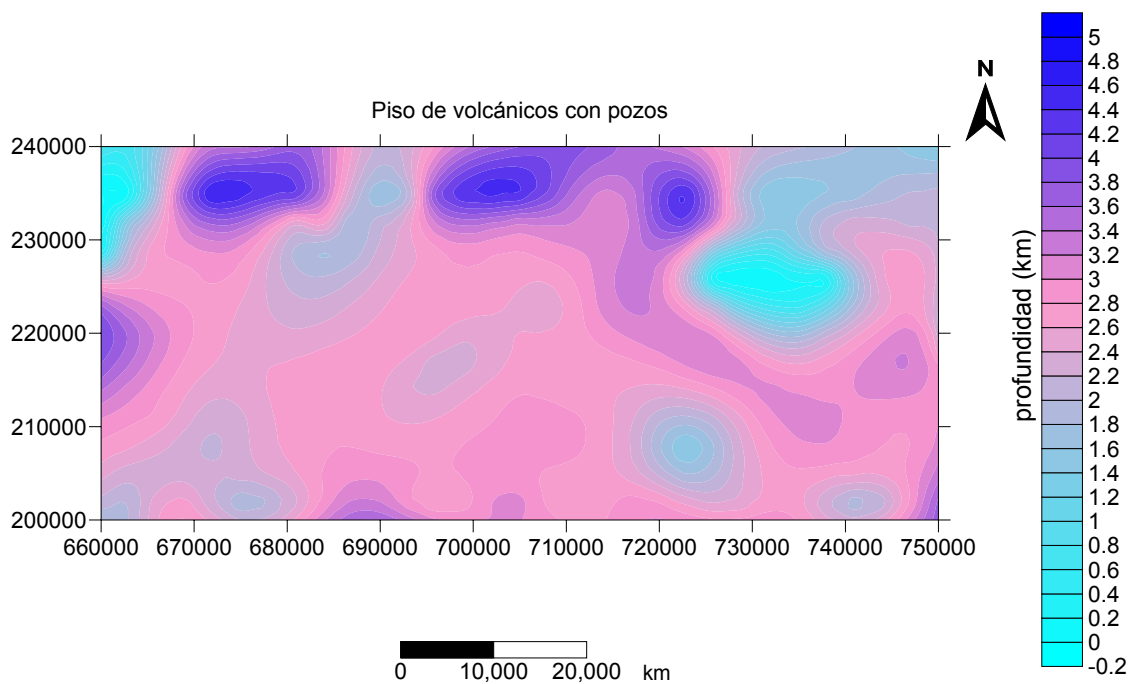


Figura 3.5. Mapa de profundidad de las secuencias volcánicas.

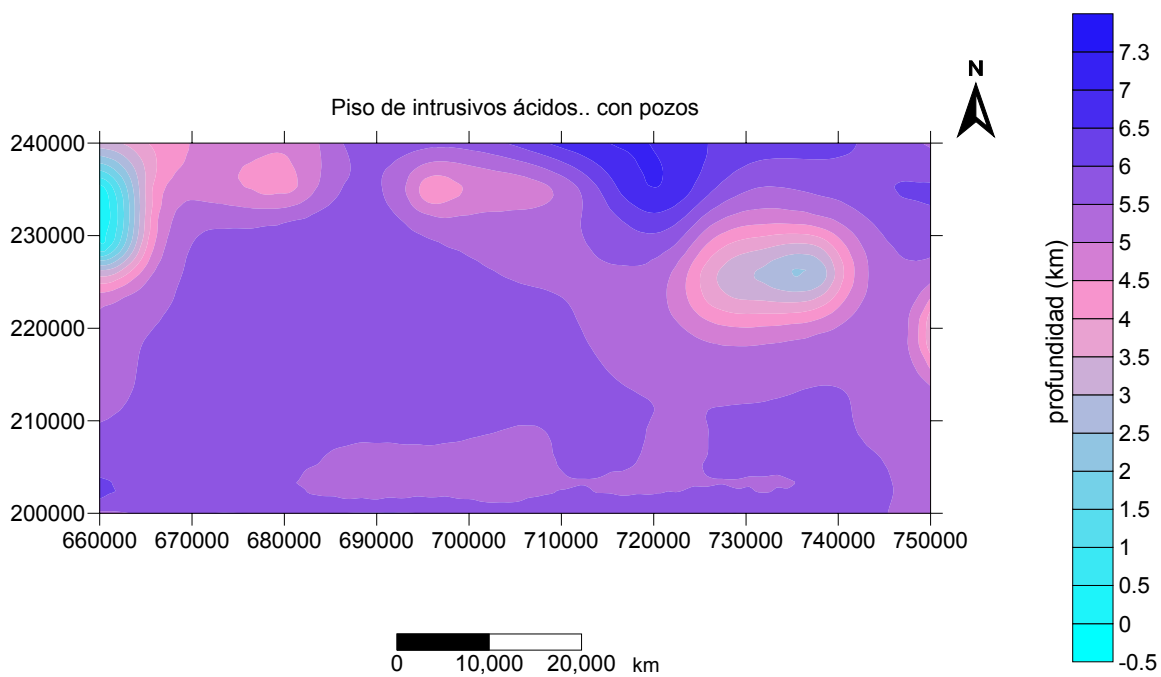


Figura 3.6. Mapa de profundidad de los intrusivos.

La profundidad del piso de las ofiolitas (Figura 3.7.) tiene sus mayores valores noreste del área, con un valor de 7.4 km. Los menores valores están en los extremos noroccidental, y nororiental inferiores a los 4.0 km de profundidad.

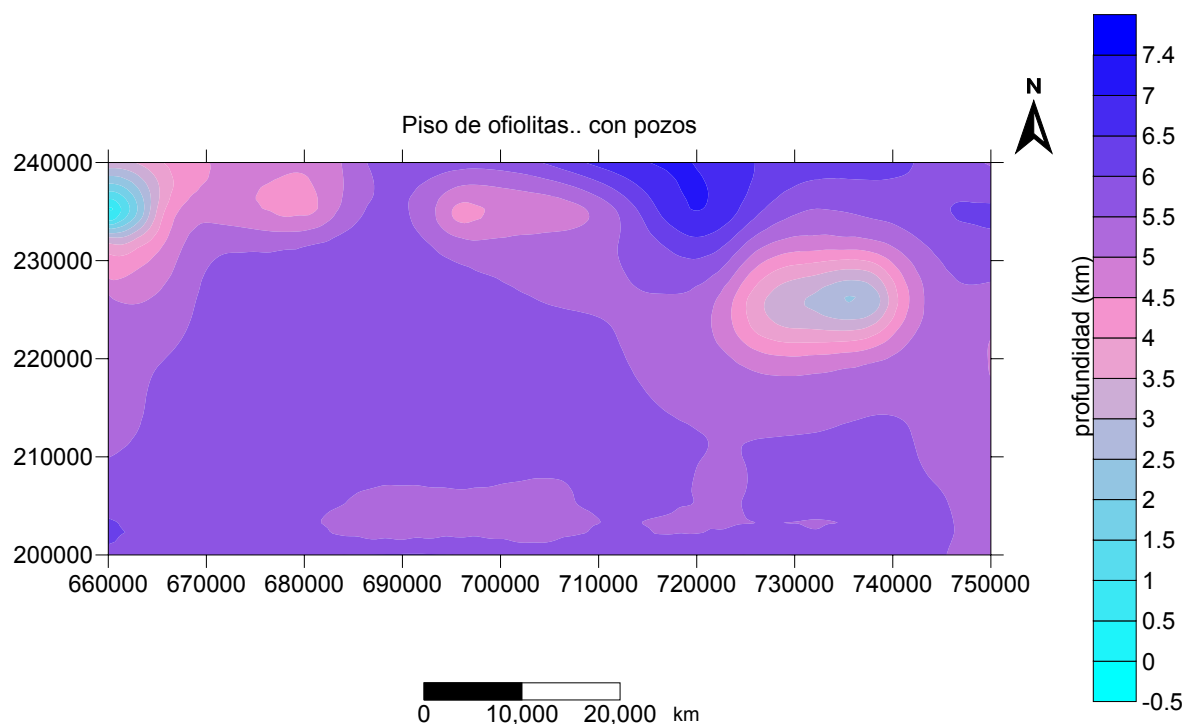


Figura 3.7. Mapa de profundidad de las ofiolitas.

Las mayores profundidades de 8.1 km de las secuencias del Paleomargen se presentan al noreste y una pequeña porción al noroeste del área (Figura 3.8.). Los valores de menor profundidad están hacia el extremo noroccidental, donde no sobrepasan los 4.5 km.

De la observación de todos los mapas descritos se aprecia la similitud en cuanto a los sectores de mayores y menores profundidades para las secuencias de los intrusivos, ofiolitas y paleomargen, cuya distribución difiere totalmente de lo ocurrido con los sedimentos y volcánicos. Resumiendo, las mayores profundidades en general de todos los conjuntos rocosos se encuentran al noroccidente, centro- norte y noreste de los distintos mapas analizados.

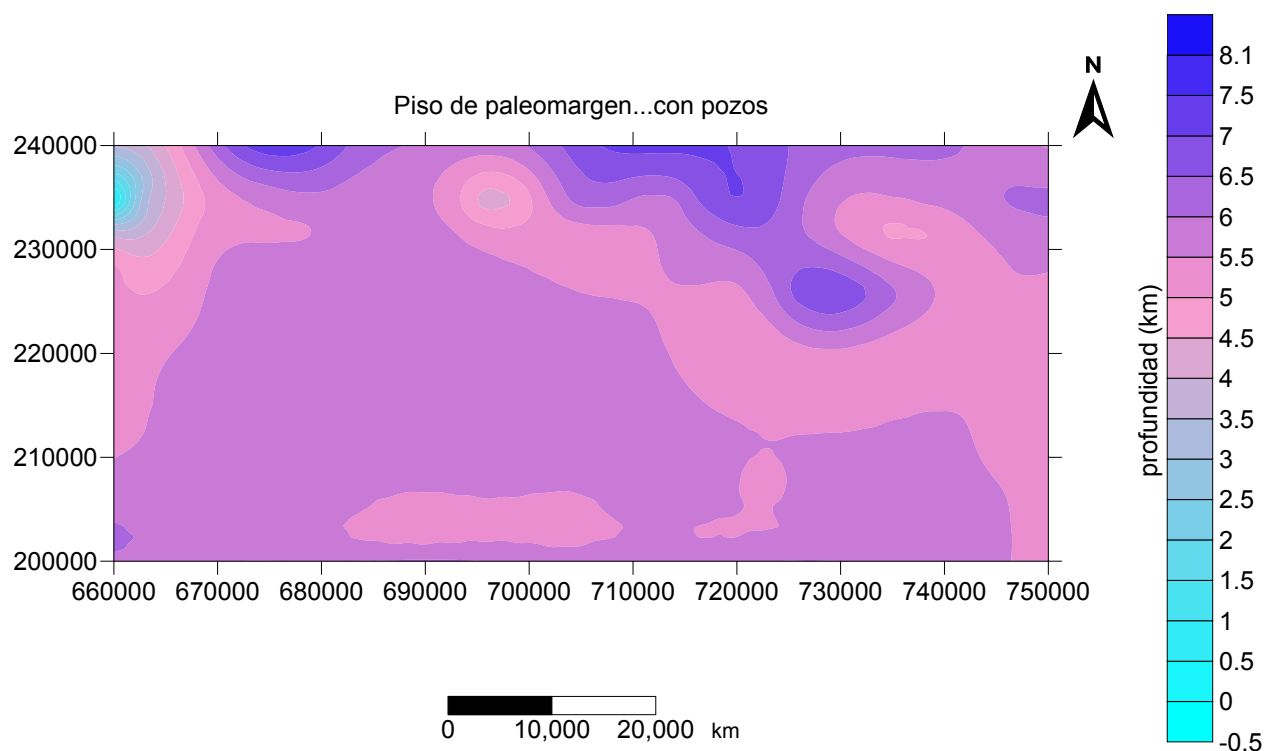


Figura 3.8. Mapa de profundidad de las secuencias del paleomargen.

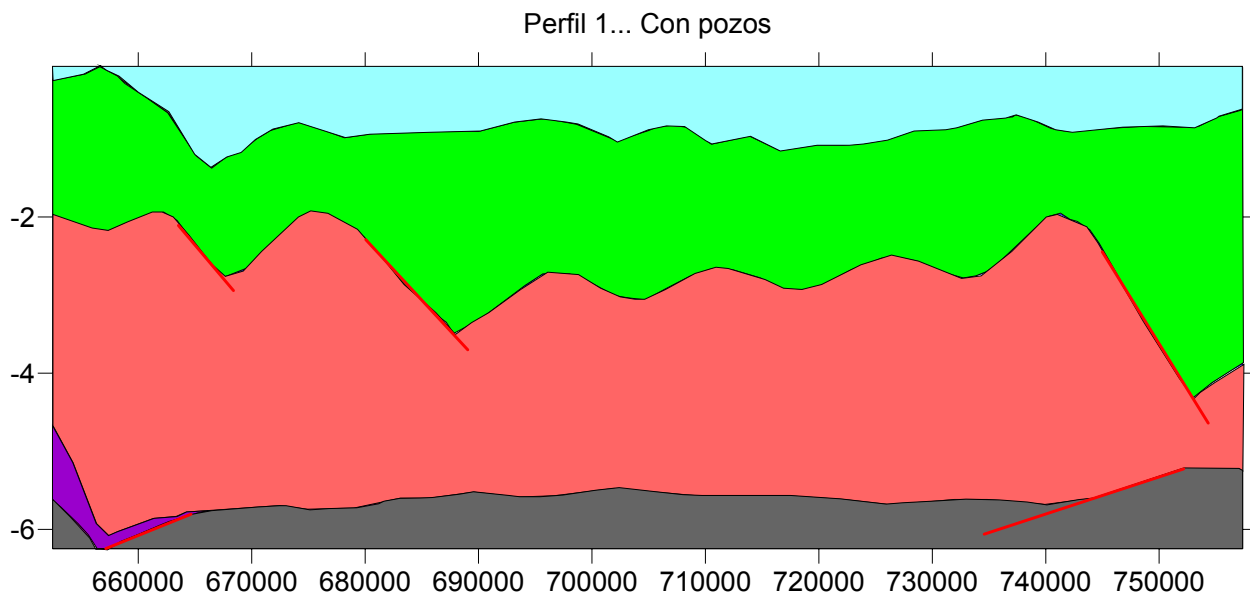
3. 3. 2. Interpretación de las secciones transversales.

La información brindada por los mapas de profundidades acerca de la situación presente en la profundidad de la región de estudio es apoyada por una serie de perfiles transversales. Estos perfiles se ubicaron con dirección N-S y E- W, en el primer caso se trazaron 7 y en el segundo 5. La descripción de estos perfiles permite no solo determinar la profundidad de las secuencias, sino que permite establecer espesores de cada una de estas en diferentes direcciones de observación. Esto ayuda al desarrollo de una mejor caracterización tridimensional de la estructura. A pesar de que en esta investigación solo se analizan cinco perfiles, tres de dirección W- E y dos S- N, en el proceso interpretativo se tienen en cuenta las informaciones brindadas por cada uno de estos. Para una mejor comprensión de la información brindada por los perfiles se realizaron secciones con cada uno de estos, las cuales dejan ver con claridad la situación dada.

Secciones transversales de dirección W-E

Sección 1 (Figura 3.9.): La sección 1 fue trazada en el límite sur de la región, en esta se representan las secuencias sedimentarias, volcánicos, intrusivos, ofiolitas y el basamento de la cuenca. Según esta sección las secuencias sedimentarias presentan sus mayores profundidades hacia la parte noroccidental, esto ya se había observado en el análisis de los mapas de profundidades. Sin embargo no es precisamente en este perfil donde se revelan las mayores profundidades de estas litologías, pues aquí los sedimentos solo llegan a 1.4 km de profundidad- espesor en su parte mas gruesa. La capa de los volcánicos en este llegan a alcanzar espesores de 3.4 km con profundidad de 4.2 km de su piso. La profundización de esta capa hacia el E está relacionada con una posible falla ubicada en el perfil que provoco el hundimiento de la capa de intrusivos que la subyace. Igualmente en esta sección aparecen representadas una serie de fallas en el contacto volcánicos- intrusivos que pueden ser las responsables de los altos valores del gradiente gravimétrico de esta parte del área representados en las figuras 3.3. y 3.3.a. Estas estructuras se ubican con una inclinación hacia el oeste y han condicionado el desplazamiento de ascenso y descenso de tramos de las secuencias que afectan, simulando una tectónica de bloques como ya se ha mencionado en otras investigaciones acerca de la cuenca. Debido a esto los volcánicos tiene una pequeña porción aflorada al extremo más occidental. Las ofiolitas aparecen muy vagamente al W, con profundidad de su piso de 6.2 km y espesor de 1.2 km. No se revelan las secuencias del Paleomargen.

Sección 3 (Figura 3.9.a): Esta sección se encuentra específicamente a la altura de la ordenada 200 000, coincidiendo con el centro del sector de estudio. Los espesores de sedimentos siguen teniendo valores que oscilan alrededor de los 1.3 km– 1.4 km, siendo estos iguales a sus espesores. Las secuencias del Paleomargen toman profundidades de 6.2 km con espesores de 1.2 km al W y al E espesores de 3.6 km con 5.3 km de profundidad. Las ofiolitas alcanzan su mayor espesor según este perfil al E con 3.7 km a los 4.3 km de profundidad, al W aparece con mayor profundidad pero menos gruesa. Algo de gran importancia es el hecho de que en esta sección se representan dos fallas que fueron establecidas según el comportamiento de las trazas del perfil, estas ponen en contacto a las ofiolitas con las secuencias del paleomargen y estas a su vez con los intrusivos en un contexto de sobrecojamiento.



LEYENDA

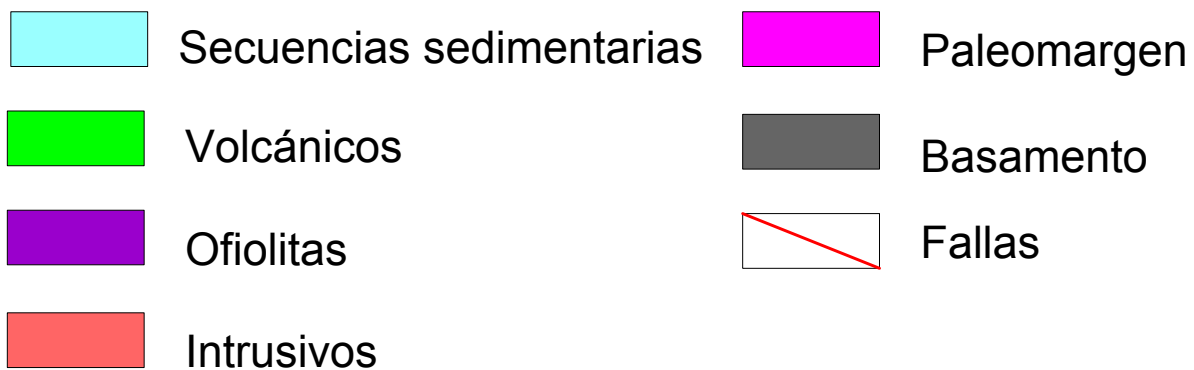
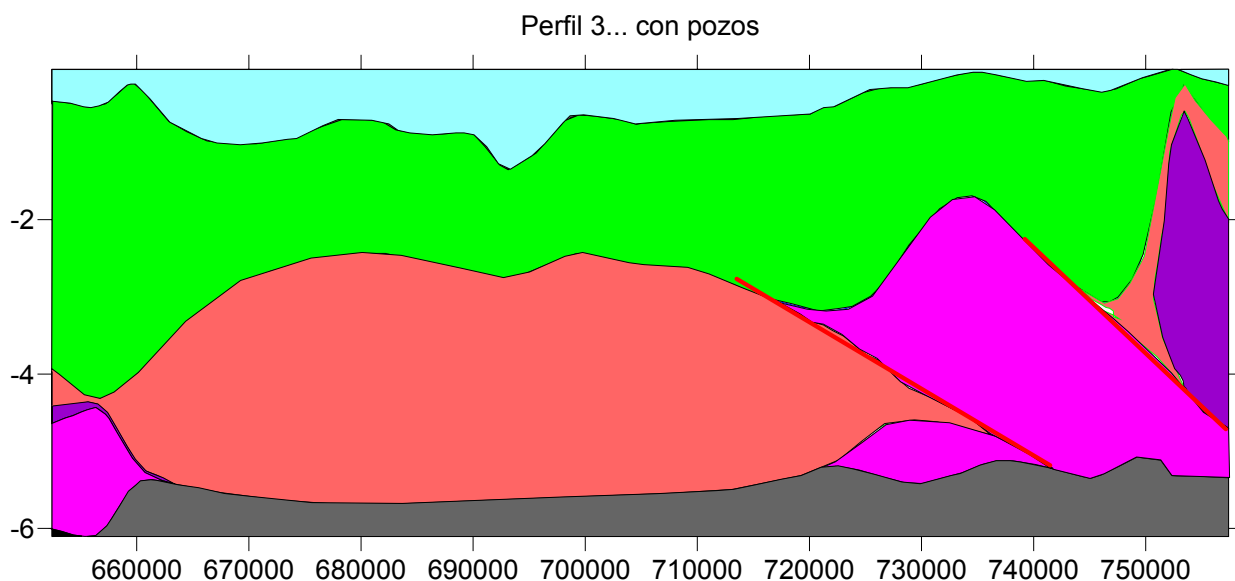


Figura 3.9. Sección 1.

Según estas secciones y las demás analizadas las zonas más deformadas se encuentran hacia la parte oriental del sector investigado, de ahí los valores positivos en la intensidad del campo gravimétrico (figuras 3.1, 3.1.a, 3.1.b.) en esta parte. La deformación tipo plegamiento observada en esta sección, que muestra el plegamiento de secuencias, de las cuales tenemos ofiolitas y rocas del paleomargen posiblemente densas, puede explicar los altos valores de intensidades.



LEYENDA

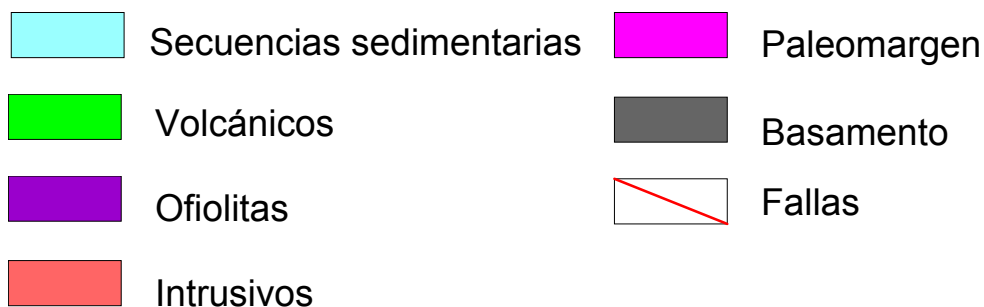


Figura 3.9a. Sección 3.

Sección 4 (Figura 3.9.b): Esta sección tiene una característica peculiar, en ella se muestran las secuencias del paleomargen cabalgando a los volcánicos y estos a su vez sobreyaciendo a las secuencias sedimentarias. Esto posibilitó el afloramiento de estas secuencias al noroeste del área. Por su parte los intrusivos se hacen mucho más gruesos en la medida que nos acercamos al E, lo que concuerda con la información del mapa de la figura 3.6, donde los mayores espesores de los intrusivos se presentan hacia el noreste del mapa. Su profundidad máxima es de 6.1 km, con igual espesor, si tomamos como nivel cero la superficie de los sobrecorrimentos. Además todo esto indica el acercamiento a la zona que corresponde al eje axial del Arco de Islas Volcánico del Cretácico.

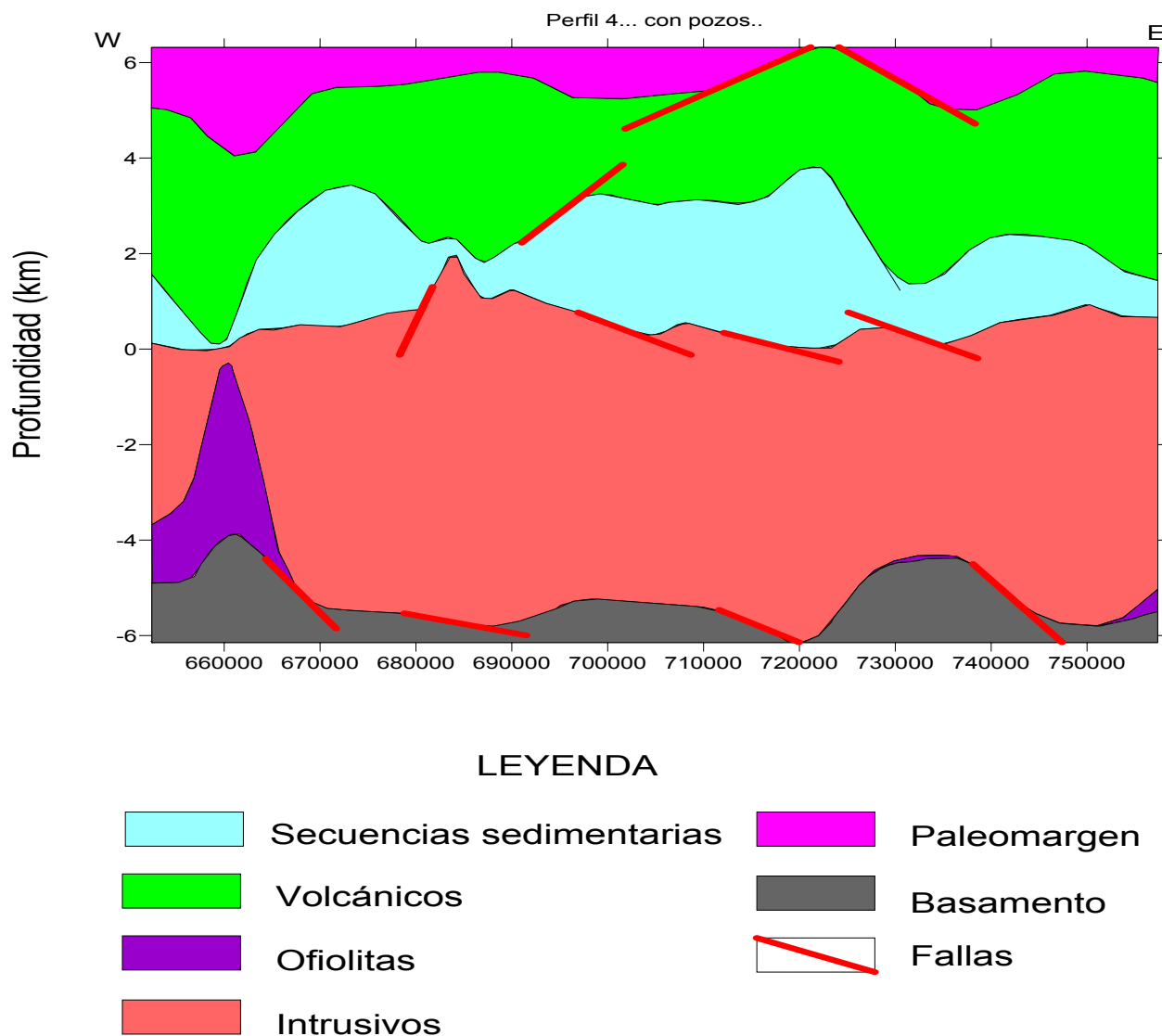


Figura 3.9.b. Sección 4.

Secciones transversales de dirección N- S

Sección 10 (Figura 3.10.): A todo lo largo de esta sección afloran rocas sedimentarias, las cuales muestran un espesor superior a 1.0 km en la parte occidental. Por debajo de estas están los volcánicos, luego los cuerpos intrusivos, las ofiolitas, las rocas del Paleomargen y el basamento metamórfico. Los volcánicos alcanzan alrededor de 3.4 km de potencia a una profundidad de 3.1 km al E de la sección, los intrusivos llegan hasta los 6.4 km de profundidad con una potencia de 3.4km, las ofiolitas presentan pequeños espesores y se

encuentran a profundidades que oscilan entre 4 km y 4.4 km, de la misma forma las secuencias del paleomargen presentan pocos espesores, aunque sus profundidades son mucho mayores llegando a los 7.0 km.

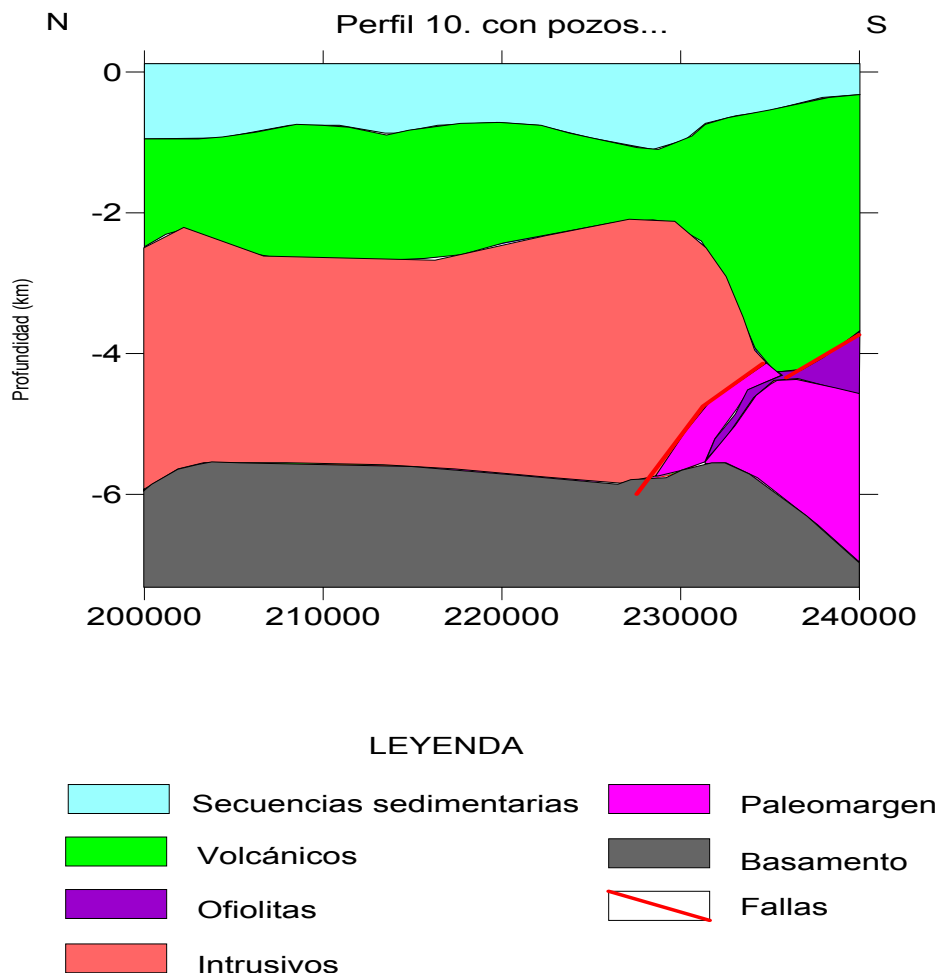


Figura 3.10. Sección 10.

Sección 14 (Figura 3.10.a): Esta sección posee espesores de 1.0 km de secuencias sedimentarias, 2.8 de volcánicos, 3.6 km de intrusivos, 1.6 de paleomargen. Las profundidades de todos estos conjuntos rocosos son de 1.0 km, 2.6 km, 5.5 km, y 5.3 km respectivamente. En toda la sección afloran rocas sedimentarias, con un pequeño sector al noreste donde afloran volcánicos. Tal y como aparece representado en esta el sector de exposición de los volcánicos se debe a la presencia de fallas que ha provocado la cercanía a la superficie de los intrusivos y la correspondiente deformación y ascenso de las rocas

suprayacentes. Estas fallas forman un sistema de bloques, los cuales sufren desplazamientos por sectores y esto es una característica que se ve bien reflejada en los mapas de gradientes y en el carácter de las intensidades del campo en las distintas áreas del sector de estudio. La acción de estas estructuras también provoca el acercamiento en determinados sectores del basamento metamórfico a la superficie, otro factor que justifica la aparición de porciones muy locales con elevados valores de la intensidad del campo gravimétrico.

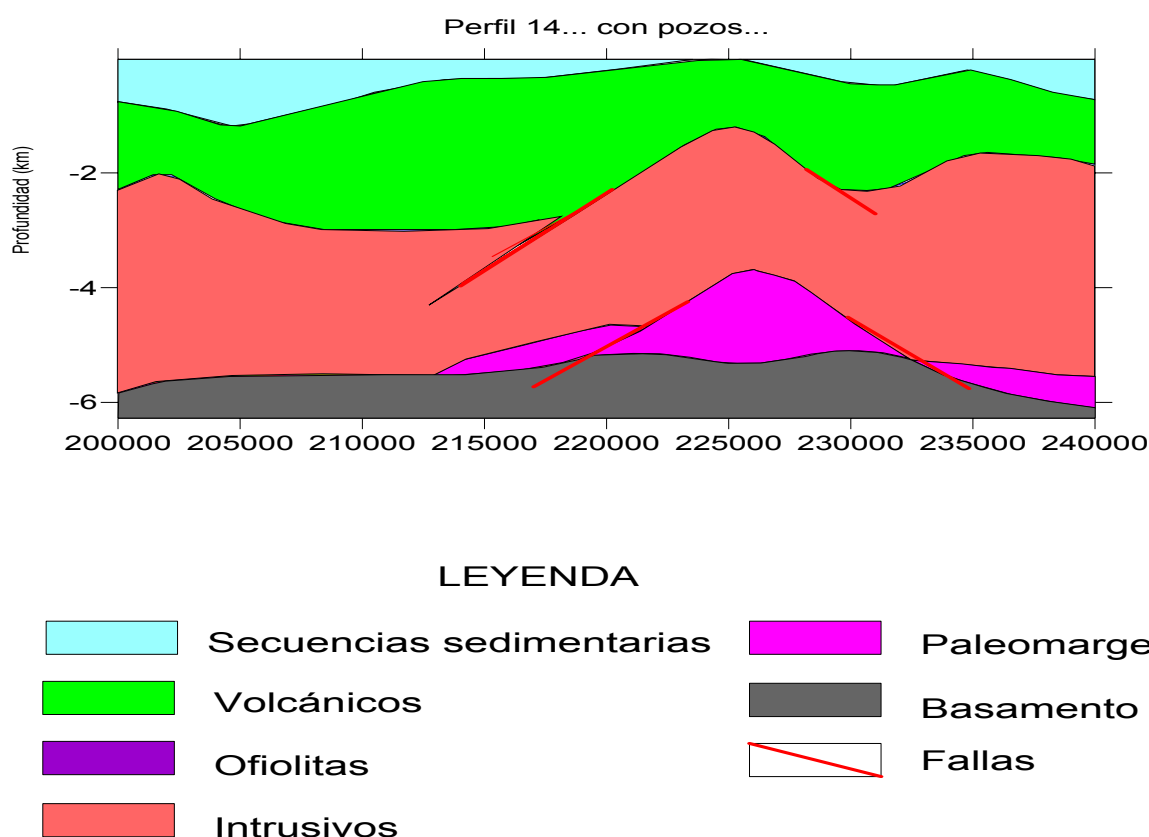


Figura 3.10.a. Sección 14.

Del análisis de estas secciones combinadas co la interpretación de los mapas de profundidades y espesores de las capas se desprende la situación geológica concreta de sector en estudio.

En resumen podemos decir que el basamento de la cuenca está diseccionado por la acción de las fracturas profundas que han ocasionado su mayor acercamiento en unos sectores y

su profundización en otros. Estas fallas tuvieron su ocurrencia durante los procesos de obducción- colisión del Arco de Islas Volcánico del Cretácico con la plataforma de Bahamas. El ambiente de todo este proceso formó además un conjunto de fracturas internas a la cuenca que junto a las estructuras principales fueron las responsables de la profundización desigual de las secuencias dentro de la misma, es decir, lograron crear una tectónica en bloques.

Las mayores profundidades de las rocas sedimentarias se hallan hacia el noroeste, aunque según los perfiles estas pueden alcanzar espesores considerables hacia la parte sur. Las zonas que se caracterizan por espesores ínfimos o ausencia de estas litologías se deben al ascenso tectónico de las litologías infrayacentes y/o a la erosión de las mismas. La sección cuatro muestra la escena del sobrecorrimiento de las secuencias pertenecientes al Paleomargen de Bahamas y los volcánicos del arco.

En la sección tres se muestran como las secuencias del paleomargen han sobrecorrido a los intrusivos y las ofiolitas las han sobrecorrido a ellas. Esto explica la tectónica compresiva a la que fu sometida la cuenca en su desarrollo. Este sobrecorrimiento se aprecia en la sección cinco que aunque no se representó se tuvo en cuenta para este análisis como el resto de las secciones no representadas. Producto a esto las secuencias sedimentarias toman presentan hacia el noreste del área las menores profundidades y en ocasiones se han eliminado completamente como resultado de la erosión, dejando aflorar los volcánicos y provocando un acercamiento a la superficie de los cuerpos intrusivos. De aquí que sea el noreste y centro del área la zona más elevada, hecho que se corrobora al analizar la columna litológica de la figura 1.2 que contiene a las secuencias que fueron atravesadas por el pozo Jatibonico 78.

Generalmente la tectónica que han sufrido las secuencias del paleomargen ha garantizado la presencia de elevados espesores de esta hacia la parte central y centro occidental del sector estudiado. Esto, además de la presencia de los mayores espesores de las secuencias sedimentarias hacia esta zona, ha originado mínimos gravimétricos en el comportamiento del campo.

Las ofiolitas e intrusivos tienen una distribución semejante de los sectores de mayores profundidades, presentándose principalmente al noreste de la región. No obstante el hecho de que estén más profundas hacia esta zona no significa que presenten siempre los espesores más grades, pues según las secciones diez y catorce puede alcanzar valores muy

bajos de espesor. Al analizar las secciones S- N no representadas se aprecia una imbricación de las ofiolitas con otras litologías del corte. Sin embargo en muchos casos no aparecen, por lo que la existencia de máximas intensidades está asociada al levantamiento del basamento metamórfico producto a la tectónica de bloques que producen las fallas que afectan a todas las rocas presentes.

Generalizando, del análisis de los mapas de profundidades y espesores de las capas y de las secciones transversales (representadas o no) de este sector, se evidencia que los intrusivos ácidos se caracterizan por presentar espesores considerables que promedian los 3.4 km en algunas de estas secciones y en otras disminuyen. La situación apreciada en los materiales analizados muestra que los intrusivos del arco han sido fuertemente afectados por la tectónica, de ahí que se encuentren interconectados a las secuencias del paleomargen y por tanto este sea el motivo de la asociación de una serie de anomalías positivas y negativas en varios sectores del mapa de anomalías de Bouguer (figura 3.1). Además en la sección cinco no representada se puede ver como estas rocas se han levantado a través de las zonas de debilidad tectónica, situación dada principalmente hacia el norte del área. Esto asegura la consideración que se tiene de que en la denominada cuenca tipo emigraven la tectónica halla más levantada hacia el norte, sufriendo profundización hacia el sur en dirección a la Cuenca de Ana María.

La mitad occidental por sus características es desde el punto de vista de la exploración de hidrocarburos la más propicia, es en esta parte donde las secuencias sedimentarias y los volcánicos del arco adquieren mayores espesores y profundidad, siendo los responsables de las bajas intensidades del campo.

En esta investigación se propone un modelo geólogo-geofísico 3D para el la Cuenca Central, en el cual se recogen las profundidades y espesores de las diferentes secuencias. Este modelo indica las relaciones estructurales y espaciales de la cuenca, donde la forma de los contactos entre las capas está controlada por sistemas de fallas, muchos de ellos no reportados en investigaciones anteriores.

De forma general en las secciones transversales de dirección W-E se reflejan mejor las heterogeneidades tectónicas y geométricas de este sector, algo de esperar pues esta es la dirección que corta casi perpendicularmente a la estructura en su rumbo. Asimismo se aporta datos acerca de 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 del antiguo margen continental de las Bahamas, de S a N (Meyerhoff y Hatten, 1974; Draper y Barros, 1994; Iturralde- Vinet, 1996). Además de reflejar la posibilidad de componentes del emplazamiento en otras direcciones.

Este análisis de la inversión 3D de este sector corrobora cuantitativamente muchos de los aspectos señalados en investigaciones cualitativas anteriores (Iturralde- Vinet, 1998; Blanco, 1999), relacionadas con la extensión en profundidad de las rocas sedimentarias, variaciones de espesores de ellas y el Paleomargen de Bahamas.

En el anexo 4 se muestra una propuesta de modelo óptimo de este sector, en la cual se observan algunos de los aspectos señalados, y sobre todo las zonas de mayores y menores profundidades, así como la afectación por diversos sistemas de fallas que se reflejan en el campo gravimétrico, al mismo tiempo que se muestran los posibles límites de la cuenca con la componente del cinturón plegado.

El hecho de que en todos los sectores las secciones transversales de dirección W-E, se reflejen mejor las heterogeneidades geológicas y geométricas, obedece a las características de emplazamiento de las de las rocas del Arco de Islas Volcánico del Cretácico y la corteza Ofiolítica. Según estas secciones de los modelos no ocurrió un avance homogéneo del frente de cabalgamiento de estas rocas sobre carbonatadas del antiguo margen continental de las Bahamas, el cual presumiblemente se produjo de S a N. También este proceso se caracterizó por esfuerzos diferenciados espacialmente.

También en todos los sectores investigados se comprueba los aspectos señalados en trabajos anteriores y se reportan nuevos elementos geológicos y estructurales que enriquecen el conocimiento de la región de estudio. Es bueno señalar que el hecho de contar con perforaciones o datos geofísicos que avalen estos planteamientos justifica la importancia de esta modelación 3D de los datos geofísicos en esta región.

CONCLUSIONES.

Después de haber realizado todo un análisis de cada una de los aspectos presentados, interpretados y revisados en esta investigación del sector sur de la Cuenca Central, concluimos que:

- De acuerdo al análisis hecho se propone un esquema de interpretación final a partir de la modelación 3D, el cual creemos más probable para el sector sur de la Cuenca Central, en el cual se recogen las variaciones de las profundidades y espesores de las secuencias sedimentarias, los volcánicos del Cretácico, los intrusivos del arco, las ofiolitas y el Paleomargen de Bahamas, así como la ubicación espacial de estos cuerpos geológicos.
- Se profundiza en las características geológicas y estructurales de la región, aportando nuevos elementos sobre la geometría y características tectónicas del sur de la Cuenca Central, así como su límite con respecto al cinturón plegado.
- Se aportan elementos a considerar sobre los procesos que han dado lugar al comportamiento diferenciado del campo gravimétrico.
- El basamento metamórfico se considera ha sufrido ascensos en determinadas zonas que se toman como otra causa de las intensidades positivas del campo gravimétrico.
- Los resultados evidencian el marcado control tectónico de la región.
- Hacia el extremo noroccidental se localizan los mayores espesores y profundidades de las rocas sedimentarias.
- Se corroboran muchas fallas reportadas y se proponen algunas nuevas, según la estructura del esquema – modelo propuesto.
- En la dirección W-E de la región se observan mayores variaciones en las características geológicas y geométricas de los cuerpos geológicos, lo cuál infiere aspectos relacionados con el emplazamiento de las ofiolitas y las rocas volcánicas del Cretácico sobre las secuencias terrígenas – carbonatadas del Paleomargen de Bahamas.

RECOMENDACIONES.

- Se recomienda la realización de estudios más detallados utilizando técnicas de este tipo y otras que permitan un acercamiento mayor a la situación presente en el subsuelo de la Cuenca Central.
- La Integración de otros métodos geofísicos a estos estudios estructurales de cuencas, que posibiliten obtener información combinada, corroborar resultados ya establecidos o aporten nuevos resultados desde el punto de vista de la geología.
- Llevar a cabo la realización de trabajos como estos a otras zonas del país en las que todavía no se han empleado estas técnicas analíticas, no solo para los fines previstos en esta investigación, sino para otras cuestiones de interés económico.
- Hacer uso de los resultados alcanzados en esta investigación en trabajos posteriores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Álvarez- Castro, J., (1994) Evaluación del potencial de exploración del Bloque No. 21. Región noreste de la Cuenca Central. CUPET. Majagua. (Inédito).
2. Álvarez- Castro, J., García, R., Segura, R., y Valladares, S. (1998) Historia geológica del desarrollo de las rocas del margen continental del Dominio las Villas basada en la evolución sedimentaria de la paleocuenca. En: Geología y Minería' 98. Memorias. Vol I. CNIG. Instituto de Geología y Paleontología. (ed) Cuba. 20- 23 p.
3. Batista, J. (1998). Características geológicas y estructurales de la región de Moa a partir de la interpretación del levantamiento aeromagnético 1: 50 000. Tesis de Maestría (No publicada) Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 79 p.
4. Batista, J. (2000). Metodología para la recuperación de la matriz digital de las observaciones de un levantamiento geofísico. Minería y Geología, vol. 17, No. 2, 23-36p.
5. Batista, J. (2002). Nuevas regularidades geológicas de la región Mayarí- saga- Moa a partir de la reinterpretación del levantamiento aerogeofísico 1: 50 000. Tesis Doctoral (No publicada). Instituto de Geología y Paleontología, 115p.
6. Blanco, J., y Figüeras, M. (1996) Yacimiento Reforma. Reporte Técnico. (inédito) Fondo UPEP Majagua. Ciego de Ávila.
7. Blanco, J. (1999) Estratigrafía y Paleogeografía de las Cuencas Superpuestas de Cuba Centro Oriental. Tesis Doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Cuba. 136p.
8. Blanco Moreno, J., Batista Rodríguez, J. A., Riverón Saldivar, B. (2000) Estructura de la cuenca de antepais en la zona de sutura de la región Esmeralda- Minas, provincia de Camaguey según datos gravimétricos., libro de resúmenes, Geofísica 2000, I Congreso Cubano de Geofísica, Edición Sociedad Cubana de Geología, Cuba, 61p.
9. Bois, C., y otros. (1982) Global geologic history and distribution of hydrocarbon reserve. AAPG Bull, 66(9). 1248- 1270p.
10. Bush, V. A., y Sherbacova, I. N. (1986) New data on the deep tectonics of Cuba. Geotectonic. 20(3). 24- 43p.
11. Brown, M. (1998) Ridge- trench interaction and high T- low- P metamorphism, with particular reference to the Cretaceous evolution of the Japanese Island. En: What

- drives metamorphism and metamorphic reactions? Treloar, P., y O'Brien, (eds), Geological Society., London, Special Publication. 138. 137- 169p.
12. Cuevas, J., Ojeda Lázaro, L., García Pérez, F., Pacheco, M., Gonzáles Despaine, D., Ramírez Ramírez, 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, 93- 105p.
 13. Cuevas, J., Ojeda Lázaro, L., Díaz Larrinaga, A., Polo Gonzáles, 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. 17p.
 14. DeCelles, P. G., y Giles, K. A. (1996) Foreland basin system. Basin Research, 8, Black well science. 105- 123p.
 15. Delgado, R. (1985) Gravimetría, Editorial Científico Técnica, La Habana, 322p.
 16. Díaz Duque, J. A., Azze, A., Díaz, 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 y Minería, Cuba, Vol. 5, Nro 3.
 17. Draper, G., y Barros, J. A. (1994b) En: Caribbean Geology and introduction. Donovan, S. K., Jackson, T. A. (eds), Jamaica. 65- 86p.
 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- 11p.
 19. Grant, F. S., West, G. F. (1966) Interpretation Theory in APPLIED GEOPHISICS. 210- 232p.
 20. Griem, W., Griem- Klee, S. Métodos geofísicos II. [http: // plata. Uda. Cl/ minas/ apuntes/ Geología/ geologiageneral/ ggcap01e. Htm](http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/geologiageneral/ggcap01e.htm) # Gravimetría. 5/ 5/ (2005).
 21. Gómez García, R., Prol Betancourt, J. G., Rifa Hernández, 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.
 22. Guerra, R. (1996) Estudio tectono- estratigráfico del sector La Rosa. Trabajo diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 65p.
 23. Gunn, P. J., Mackey, T., Meixner, T. J. (1998) Magnetic, radiometric and gravity signatures of localities of epithermal gold deposits in Fiji. En: X Cgreso latinoamericano

de geología y VI Congreso Nacional de Geología económica. Simposio: Geofísica aérea y geoquímica en la prospección geológica- minera, p. 43- 51p.

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., Somin, M., Millán, G., Renne, P., Kistler, R., y Mattinson, J. (1988) Tectonostratigraphic units of Central Cuba. En: Trans. Carib. Geol. Conf. 11th. Barter, L. (ed). 35. 1- 35p. Barbados.
26. Hood, P. J., Holroyd, M. T., McGrath, P. H. (1979) Magnetic Methods applied to base metal exploration. In Hood, P. J., Ed., Geophysics and geochemistry in the search for metallic ores: Geol. Surv. Can. Econ. Geol. Rep., vol. 31, p. 527- 544.
27. Hood, P. J., Teskey, D. J. (1989) Aeromagnetic gradiometer program of the Geological Survey of Canada. Geophysics, No. 54, 1012- 1022p.
28. Horn, B. K. P., y Bachean, B. L. (1978) Using synthetic images to register real images with surface models. Comm. of the ACM, 21, 914- 924p.
29. Insua Arevalo, J. M., Martín Gonzáles, F., Capote, R., Martínez Díaz, J. J. (2004) Análisis tectónico de los mapas de anomalías gravimétricas de la Cuenca Málaga, Cordillera Bética Occidental, Boletín Geológico y Minero, Vol. 115, Nro 3, 521- 536 p.
30. Iparenko, S., Mijail Kopnin y S. Shijov: "Empleo de la exploración gravimétrica para estudiar la estructura de la corteza terrestre de la Isla de Cuba y los territorios adyacentes". Revista Tecnológica. No. 2, (1971).
31. Iparenko, S., y N. Sashina: Sobre el levantamiento gravimétrico en Cuba. Ed Organismos, La Habana, (1971).
32. Iturralde- Vinent, M., Tchounev, D., Cabrera, R., y otros. (1981) Geología del territorio Ciego- Camagüey- Las Tunas: resultado de las investigaciones científicas y del levantamiento geológico a escala 1: 250 000. Academia de Ciencias de Cuba y Bulgaria. (Inédito) ONRM. La Habana. 940p.
33. Iturralde- Vinent, M., Thieke, H., y otros. (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, (1981- 1987) (Inédito) Fondo Geológico Nacional. La Habana, 1 500p.

34. Iturralde- Vinent, M., y Marí, T. (1988) Toleítas del Thitoniano de la sierra de Camaján, Camagüey. Posible datación de la corteza oceánica. *Revista Tecnológica*. XVIII(1). 25- 32p.
35. Iturralde- Vinent, M. (1994) Cuban Geology: A new plate tectonic synthesis. *Journal of petroleum geology*. 17(1). 39- 70p.
36. Iturralde- Vinent, M. (1995) Cuencas sedimentarias del Paleoceno- Eoceno de Cuba. *Bol., Sociedad Venezolana de Geología*. 20(1- 2). 75- 80.
37. Iturralde- Vinent, M. (1996) Introduction to Cuban geologic and geophysics. En: *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba – Iturralde- Vinent, M. (ed) Miami. Florida*. 83- 120p.
38. Iturralde- Vinent, M. (1997) Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. (Inédito).
39. José- Orlando., López- Quinteros., Navarrete- Reyes., Blanco- Gonzáles. (1998) Generación de petróleo en Cuba por rocas madres de edad Cretácico. En: *Geología y Minería' 98. Memorias. Volumen II. CNIG. Instituto de Geología y Paleontología. (Ed). Cuba*. 305- 306p.
40. Kingston, D., Dishroon., y Williams, P. (1983a) Global basin classification system. *AAPG Bull*, 67. 2175- 2193p.
41. Kingston, D., Dishroon., y Williams, P. (1983b) Hydrocarbon plays and global basin classification. *AAPG Bull*, 67. 2194- 2198p.
42. Klemme, H. D., Ulmishek, G. F. (1991). Effective petroleum source rocks of the world: Stratigraphic distribution and controlling depositional factors. *AAPG Bull.*, vol. 75, No. 12, 1809- 1851p.
43. Kolomenski, N. V. (1994) Metodología general de investigaciones ingeniero- geológicas. Editorial Pueblo y Educación. Cuba. 412p.
44. Kowalik, W. S., Glenn, W. E. (1987) Image processing of aeromagnetic data and integration with lansat images for improved structural interpretation. *Geophysics*, vol. 52, 875- 884p y Seigel, H. (1989) New horizons in mining geophysics. *Proceedings of Exploration' 87, Ontario geological survey, special. Vol 3*, 93- 104p.
45. *Léxico estratigráfico de Cuba*. (1988) Instituto Cubano de Geología y Paleontología. La Habana.
46. Linares, E. (1978) posibilidades gasopetrolíferas del horst Jatibonico- Rubio- Cometa y Yacimiento catalina en la depresión central cubana. Trabajo diploma. ICT. Instituto Superior Minero Metalúrgico de moa. 178p.

47. Mann, P., Lewis, J., y Draper, G. (1991) An overview of the geologic and tectonic development of Hispaniola. Geological Society of America, Special Paper. 246. 1- 69p.
48. Mann, P., Taylor, F., Lawrence, E., y Ku, T. (1995) Actively evolving microplate formation by oblique collision and sideways motion along strike- slip faults: An example from the northeastern Caribbean Plate margin. Tectonophysics. 246. 1- 69p.
49. Marcotte, D. L., Hardwick, C. D., Lemeux, J., O' Connell, M., Reford, M. (1990) Aeromagnetic gradiometry methods: A study using real data 60th Ann. Internet. Mtg., Soc. Expl. Geophysics. Expanded Abstract, 584- 586p.
50. Marcotte, D. L., Hardwick, C. D., Nelson, J. B. (1992) Automated interpretation of horizontal magnetic gradient profile data. Geophysics, Vol. 57, 288- 295p.
51. Menshikov- Vladimir, S., y Delgado Sardinas: Gravimetría. Prólogo de Vladimir Menshikov. 1a y 2a. Partes. Impresión ligera. La Habana, (1973).
52. Meyerhoff, A., y Hatten, C. (1958) Diapiric structure in Central Cuba. AAPG Memoir 8. 315- 357p.
53. Meyerhoff, A., y Hatten, C. (1974) Bahamas salient of North America; tectonic framework, stratigraphy and petroleum potential. AAPG Bull. 58(6). 1201- 1239p.
54. Millián, G., Somin, M. (1985) Condiciones geológicas de la constitución de la capa granítico- metamórfica de la corteza terrestre de Cuba, Instituto de Geología y Paleontología. La Habana.
55. Millián, G. (1986a) Estratigrafía del área Catalina, Cuenca central, basado en datos del subsuelo. Serie Geológica. 1. 18- 30p.
56. Millián, G., Pérez, C., y García, D. (1998) El cinturón orogénico en Cuba Central. En: Geología y Minería' 98. Memorias. Volumen I. CNIG. Instituto de Geología y Paleontología. (ed). Cuba. 423- 426p.
57. Millián, E. (1987a) Análisis, generación y evaluación de las propiedades gasopetrolíferas de la Cuenca Central y elaboración de recomendaciones sobre trabajos de prospección geofísica. CUPET. Majagua. (Inédito). 37p.
58. Millián, E. (1987b) Caracterización de las facies colectoras y sellos y su distribución areal para los depósitos Cretácico- Paleógenos de la cuenca Central de Cuba. (Inédito) Fondo UPEP Majagua. Ciego de Ávila (Inédito). 215p.
59. Millián, E. (1989) Análisis formacional de la Cuenca Central de Cuba. Revista Tecnológica. 1.

60. Mirónov, V. S. (1977) Curso de Prospección Gravimétrica. Editorial Reverté, S.A. Barcelona. 525p.
61. Nabighian, M.N. (1984) Toward a tree- dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert Transform- Fundamental relations. Geophysics, vol. 49, 780- 786p.
62. Rivero, L., Vilas, M., Pinto, V., Casas, A. (2001) Modelización gravimétrica 2D de la fosa de l'Empordá (NE de la Península Ibérica), Acta Geológica Hispánica, Vol. 36, Nro 1- 2, 97- 113p.
63. Pairazian, V., Larkin, V., Kachalov, Y., Kleimenov, V., Kutnetzov, V., Ousiannikov, V., Jotintseva, L., Martínez, A., y Paula, R. (1975) Estudio de los petróleos, gases, aguas y bitúmenes de los depósitos mesocenoicos de la República de Cuba y su plataforma marina (no publicado). La Habana. CNFG. Cuba.
64. Pérez Flores, M. A., Batista Rodríguez, J. A., Suárez 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, 24p.
65. Pindell, J. L. (1994) Evolution of the Gulf of Mexico and the Caribbean: Caribbean Geology on introduction. Donovan, S. K., Jackson, T. A. (ed). Jamaica. 13- 40p.
66. Pindell, J. L., Cande, S., Pitman III, W., Rowley, D., Dewey, J., Labrecque, J., y Haxby, W. (1988) a plate- kinematics framework for models of Caribbean evolution. Tectonphysics, 155. 121- 138p.
67. Pinto, V., Casas, A., Rivero, L., Lázaro, L. (2002) Modelización gravimétrica 3D de los diapiros de Cordona, Cuenca del Ebro (NE de España), Acta Geológica Hispánica, Vol, 37, Nro 4, 273- 284 p.
68. Planos- Gutierrez, E. (1989) Hidrografía. En: Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba. Madrid.
69. Quintas, F. (1989) Análisis estratigráfico y paleogeográfico del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis Doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Cuba. 145p.
70. Rawilson, H. P. (1998) Geological well report Violeta 1. Block 21. Ciego de Ávila. Premier Oil. London. 47p.

71. Reyes, O., Perera, C., y Hernández, J. (1998) lito- geofísica del corte del Yacimiento Pina. En: Geología y Minería' 98. Memorias. Volumen I. CNIG. Instituto de Geología y Paleontología. (ed). Cuba. 599- 602p.
72. Rodríguez, D. (1996) Generalización tectono- estratigráfica del Yacimiento pina. (Inédito) CICT. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 50p.
73. Ross, M., Scotese, C. (1988) A hierarchical tectonic model of the Gulf of Mexico and Caribbean region. Tectonophysics, 155. 138- 168p.
74. Sánchez- Arango, J. (1977) Estudio bioestratigráfico del pozo Catalina No. 5. Minería en Cuba. 3(4) 15- 26.
75. Schott, R., y Jonson, C. (1998) Sedimentary record of the late Cretaceous thrusting and collapse of the Salinia- Mojave magmatic ore. Geology. 26(4). 327- 330p.
76. Segura, R., Hernández, B., y Brey, D. (1988) La extinción de la actividad del Arco Volcánico del Cretácico en la Cuenca Central de Cuba. Revista Tecnológica. 18(3). 25- 29p.
77. Smith, D. (1988) (A review of the peculiar mineralogy of the "Norwegian coesite- eclogite province, with crystalchemical, Petrological, geochemical and geodynamical notes and an extensive bibliography in eclogites facies rocks. Elsevier, Amsterdam.).
78. Yardley, B. (1990) An introduction to metamorphic petrology- Longman scientific and technical. John Wiley and Sons Inc. New York.