

UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO
“HNOS. SAÍZ MONTES DE OCA”
FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS



**CALIBRACIÓN DE HORIZONTES LITO-ESTRATIGRÁFICOS A
PARTIR DEL MÉTODO SISMO-GEOLÓGICO. PERSPECTIVAS
GASOPETROLÍFERAS EN UN SECTOR DEL BLOQUE 23. CUENCA
CENTRAL**

**Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Geología
(Mención Geología del Petróleo)**

Autor: Ing. Yandy Sánchez Roig

Tutores: MSc. Esthenis de la Caridad Martínez Rojas.

Dr. C. Carlos Enrique Cofiño Arada.

Pinar del Río

2015

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a toda mi familia por estar siempre a mi lado apoyándome, al precio de malos ratos por mi ausencia, a mi madre Ana, mi hermana Yosmary, a mi hermosa novia Ani, por su paciencia e inspiración. Agradecer también a mis tutores Esthenis por su dedicación incondicional, por sacar un espacio de su tiempo libre y estar ahí poniéndole el corazón a la geología de petróleo en Cuba, a Raúl Gómez García y a Carlos E. Cofiño Arada, amigo y compañero. A los compañeros del Departamento de Geología de la Universidad de Pinar del Río, en especial a Michael, compañero en esta batalla y a los colegas del Departamento de Interpretación de DIGICUPET, por su paciencia y solidaridad. A los muchachos de Villa Habana: Leo, Lise, José, Eduardo, Ana, Adrian 1 Adrian 2, Amanda, Glenda, Ivis, Anaimelys... en fin a todos ellos que me ayudaron en los momentos de aprietos (no pocos) del hospedaje. También agradecer a los colegas del Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) por toda la ayuda recibida por parte de ellos, en especial a Orelvis Delgado López y Osvaldo Corso.

DEDICATORIA

Esta tesis la quiero dedicar de manera muy especial a mi madre, quien ha sido todo para mí a lo largo de mi carrera, por su educación, por su ayuda, por su amistad, pues todo lo que he logrado en la vida se lo debo a ella, a mi tata, a mi novia linda, a mis sobris locos, a mis suegros Anabel y Mario, que han sido como padres para mí, sus consejos siempre han ido conmigo, a mi padre, que donde quiera que este sé que se debe sentir orgulloso de mí.

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Los resultados que se exponen en la presente tesis se han alcanzado como consecuencia del trabajo realizado por el autor y asesorado y/o respaldado por el Centro de Investigaciones del Petróleo y la Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca”. Por tanto, los resultados en cuestión son propiedad del autor y de estas instituciones y solo ellas podrán hacer uso de los mismos de forma conjunta y recibir los beneficios que se deriven de su utilización.

RESUMEN

El presente trabajo se basó en la calibración de los horizontes lito-estratigráficos a través de métodos sísmo-geológicos, sobre líneas sísmicas 2D de reflexión en un sector del Bloque 23, Cuenca Central de Cuba. Esto facilitó la posterior confección de tres perfiles, sobre las líneas CNW-92-03A, CNW-94.25 y CNW-92-14, en los que se pudieron establecer 6 horizontes lito-estratigráficos. Para ello se contó con información facilitada por el Centro de Investigaciones del Petróleo, como: líneas sísmicas 2D, prestack-migration en formato papel de dos campañas de campo, realizadas el año 1992 y 1994 respectivamente, además información geológica de varios pozos perforados en el área vinculados al Informe de Correlación Lito-estratigráfica de la Cuenca Central de Cuba, 1994. Para lograr el objetivo planteado fue necesario procesar la información sísmica (cálculo de las profundidades) a través del procesamiento de las velocidades RMS, intervalo y media. En total se recopilaron 3108 determinaciones, provenientes de cortes en tiempo migrados antes de la suma (PSTM), conformados por 235 CDP en 10 líneas sísmicas de reflexión 2D. Una vez concluida esta etapa, se pretendía proponer nuevas áreas con perspectivas gasopetrolíferas entre el tope y base de las secuencias cretácicas, pero debido a la baja calidad de la sísmica, se pudo comprobar que sería muy riesgoso, por lo que se abordaron una serie de cuestiones necesarias con vista a definir las áreas perspectivas, y se destacó que tanto la investigación presente así como de previos estudios arrojan muy bajas probabilidades para la existencia de nuevas áreas gasopetrolíferas.

ABSTRACT

This research is based on calibration of litho-stratigraphic horizons through seismic-geological methods, on 2D seismic reflection lines in a sector of Block 23, Central Basin of Cuba. This facilitated to build three profiles, on CNW-92-03A, CNW-94.25 and CNW-92-14 lines, which allowed to differentiate 6 litho-stratigraphic horizons. Primary information was composed of: 2D seismic lines, prestack-migration, on paper, for 1992 and 1994 years respectively, and geological information of several wells drilled in the area. To achieve the objective was necessary to process the seismic data (calculating depths) through RMS velocities processing, range and average values. A total of 3108 determinations were made, coming from 10 2D seismic reflection lines. After finishing this stage, it was intended to propose new oil prospects between the top and the base of the Cretaceous sequences, but due to the poor quality of seismic, it was found risky. So, a number of issues necessary to define new prospects were addressed, concluding that very low probabilities exist for the existence of new oil prospects.

INTRODUCCIÓN:.....	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO-REFERENCIAL	3
I.1 CUENCAS SEDIMENTARIAS EN CONTEXTOS TECTÓNICOS DE CONVERGENCIA. GENERALIDADES	3
I.2 ANTECEDENTES GEÓLOGOS PETROLEROS EN EL MUNDO.....	5
I.3 ANTECEDENTES GEÓLOGO PETROLEROS EN CUBA Y EN EL ÁREA DE ESTUDIO	6
I.3.1 Antecedentes geólogo petroleros en Cuba.....	6
I.3.2 Antecedentes geólogo petroleros en el área de estudio.....	7
CAPÍTULO II. CARACTERÍSTICAS FÍSICO- GEOGRÁFICAS. GEOLOGÍA REGIONAL Y DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	21
II.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS.....	21
II.1.1 Ubicación Geográfica	21
II.1.3 Hidrología.....	22
II.1.4 Clima	22
II.1.5 Vegetación.....	22
II.1.6 Condiciones socio-económicas.....	22
II.1.7 Principales renglones económicos	23
II. 2 GEOLOGÍA REGIONAL Y DEL ÁREA DE ESTUDIO	23
II.2.1 Geología.	23
II.2.2 Estratigrafía	24
II.2.2 Rocas del Margen Continental Pasivo Norteamericano.....	25
Unidad Tectónico-Estratigráfica Placetas.....	26
Unidad Tectónico-Estratigráfica Camajuaní.....	28
Arco Volcánico Cretácico.....	29
Complejo vulcano – sedimentario.....	29
Complejo Plutónico	30
II.2.4 Sedimentos Sinorogénicos.	31
II.2.5 Sedimentos Pos-orogénicos.....	33
II.3 CONSIDERACIONES SOBRE TECTÓNICA REGIONAL.....	36
II.4 MAGMATISMO.....	38
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....	40
3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	41
3.2. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.	43
3.2.1 Procesamiento de datos sísmicos.	43
3.2.2 Procesamiento de datos geológicos.	48
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	¡Error! Marcador no definido.
3.3.1 Calibración de los horizontes lito-estratigráficos sobre las líneas sísmicas 2D de reflexión.....	48
3.3.2 Confección e interpretación de Perfiles Sismo-Geológicos.....	50
3.3.3 Propuesta de nuevas áreas con perspectivas para la acumulación de Hidrocarburos en las secuencias comprendidas entre el Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano y las Tobas.	50

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.	51
4.1 CALIBRACIÓN DE LOS HORIZONTES LITO-ESTRATIGRÁFICOS	51
4.2 CONFECCIÓN E INTERPRETACIÓN DE PERFILES SISMO- GEOLÓGICOS.....	58
4.3 PROPUESTA DE NUEVAS ÁREAS CON PERSPECTIVAS PARA LA ACUMULACIÓN DE HIDROCARBUROS EN LAS SECUENCIAS COMPRENDIDAS ENTRE EL CRETÁCICO SUPERIOR CAMPANIANO- MAASTRICHTIANO Y LAS TOBAS.....	63
CONCLUSIONES:.....	65
RECOMENDACIONES:	66
BIBLIOGRAFÍA:	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1: Distribución de los principales límites tectónicos, placas litosféricas y el espesor de los sedimentos a escala global..	3
Figura I.2: Modelo de cuencas sedimentarias formadas en contexto de colisión continental.	5
Figura II.1: Mapa de ubicación geográfica del área de estudio. Cuba Central. Bloque 23. Escala 1: 250 000.	21
Figura II.2: Mapa esquemático del territorio cubano	23
Figura. II.3 Columna geológica generalizada para Cuenca Central (UTE Placetas)	24
Figura. II.4 Columna geológica generalizada para Cuenca Central	25
Figura. II.5 Columna geológica generalizada para Cuenca Central	25
Figura II.6. Afloramiento de rocas de la Formación Serrucho..	30
Figura II.7. Olistostroma policomponente Taguasco de edad Paleoceno Superior - Eoceno Inferior (Parte Baja).	32
Figura II.8. Afloramiento de calcarenitas de la Formación Marroquí	34
Figura II.9 Afloramiento de rocas de la Formación Chambas.	35
Figura II.10. Modelo geológico de Cuenca Central.	37
Figura III.1: Diagrama de flujo descriptivo. Muestra la metodología empleada durante la ejecución de la investigación.	40
Figura III.2. Esquema que muestra cómo se toma la lectura de las velocidades por el Sismocarotage.	41
Figura III.3 Ubicación de líneas sísmicas, encerrado en naranja el área de estudio. Bloque 23	44
Figura III.5: Gráfico de dispersión T vs H, CDP-1131, Línea CNW 92-03A	47
Figura III.4 Método de digitalización para leer el tiempo Vs profundidad	49
Figura III.1. Correlación litoestratigráfica perfil I-I' y ubicación respecto a la línea 92-03A.	51
Figura IV.2. Correlación litoestratigráfica perfil II-II' y ubicación respecto a la línea 94-25.	54
Figura IV.3. Correlación litoestratigráfica perfil III-III' y ubicación respecto a la línea 92-14.	56
Figura IV.4. Perfil I-I', sobre la línea 92-03A, pozos Catalina-4, 14 y 8	58
Figura IV.5. Perfil II-II', sobre la línea 94-25, pozos Catalina-6, 1,2 y 5.	60
Figura IV.6. Perfil III-III', sobre la línea 92-14, pozos Catalina-6, 10 y Jatibonico	78
Figura IV.7. Mapa estructural. Horizonte sísmico cercano a base del Terciario-tope del Cretácico.	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.1: Clasificación de las cuencas sedimentarias desarrolladas en contextos tectónicos de convergencia.....	4
Tabla I.2 Trabajos gravimétricos y magnetométricos en Cuenca Central de Cuba .	7
Tabla I. 3 Trabajos sísmicos en Cuenca Central de Cuba.....	9
Tabla III.1. Líneas sísmicas empleadas en área de estudio. Bloque 23	45
Tabla III.2: Procesamiento de cortes sísmicos para cálculo de profundidades. Ejemplo línea 94-25.....	45
Tabla III.3 Tratamiento de las velocidades para el cálculo de la profundidad de los reflectores sísmicos. CDP-2451 de la línea CNW 92-14, cercana al pozo Catalina-10.	46
Tabla III.4 Pozos estudiados con sus respectivos CDP más cercanos	49
Tabla IV.1 Calibración de los límites lito-estratigráficos a partir de los estudios de velocidades. Tiempo de ocurrencia. Perfil I-I'	52
Tabla IV.2 Calibración de los límites lito-estratigráficos a partir de los estudios de velocidades. Tiempo de ocurrencia. Perfil II-II'	55
Tabla IV.3 Calibración de los límites lito-estratigráficos a partir de los estudios de velocidades. Tiempo de ocurrencia. Perfil III-III'	57

INTRODUCCIÓN:

Dentro de la denominada Depresión Central Cubana es Cuenca Central una de las cuencas sedimentarias más conocida, tanto por su repercusión en el paisaje geográfico y geológico, como por sus posibilidades gasopetrolíferas.

Por su ubicación en dirección fundamental suroeste-noreste a todo lo ancho de la región central de Cuba, Cuenca Central está comprendida dentro del área de desarrollo de las denominadas Provincias Gasopetrolíferas Norte y Sur Cubanas, representadas en los Bloques Petroleros 21 A y 23, este ultimo objeto del presente estudio, donde las principales acumulaciones de hidrocarburos encontradas están referidas en su génesis a rocas madres de cuenca depositadas en el margen continental (tipo UTE Placetas-Camajuaní), generalmente en reservorios de rocas vulcanógenas, vulcanógeno-sedimentarias y sinorogénicas del Cretácico y sello en las secuencias arcillosas del Eoceno Inferior y Medio.

Una vez que los trabajos de exploración en Cuenca Central no han tenido éxitos en estos ultimo años y las reservas están en franco declive, la necesidad de incrementar la producción de hidrocarburos exige la revisión y actualización de toda la información geológica y geofísica en un dominio multidisciplinario que conlleve al descubrimiento de nuevos yacimientos.

Por tal motivo se decidió encausar este trabajo a las posibilidades gasopetrolíferas del área a partir de la revisión e interpretación del material sismo-geológico concerniente a un sector del Bloque 23, (Catalina-Angelina), con la visión calibrar los principales horizontes lito-estratigráficos, para poder confeccionar varios perfiles que en caso de mostrar un cuadro de ondas bien definidos se podrán proponer nuevas áreas para la exploración de hidrocarburos.

Para dar respuesta a tales expectativas la secuencia de pensamiento científico-técnico asumida está enfocada en:

Problema: La necesidad de conocer los diferentes topes y bases de los horizontes lito-estratigráficos, principalmente los comprendidos en las secuencias cretácicas, la cuales conforman los principales horizontes productores del Bloque 23 y de esta manera poder proponer nuevas áreas como posibles reservas de hidrocarburos.

Objeto: Las secuencias lito-estratigráficas ubicadas en el Bloque 23 principalmente entre la base del Terciario y la base del Cretácico.

Objetivo General: Determinación de los principales topes y bases de las secuencias lito-estratigráficas y establecer nuevas áreas dentro del Bloque 23 con perspectivas para la acumulación de hidrocarburos.

Objetivos Específicos:

- Determinar por medio de la calibración de horizontes lito-estratigráficos, la profundidad y espesores a que se encuentran las principales secuencias sobre las líneas sísmicas 2D de reflexión.
- Confeccionar perfiles sismo-geológicos que permitan delimitar topes y bases de las principales secuencias en el área de estudio.
- Proponer nuevas áreas con perspectivas para la acumulación de Hidrocarburos entre las secuencias comprendidas entre el Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano y las Tobas.

Tareas:

- Estudio de velocidades de procesamiento con vista a calcular de las velocidades medias o velocidades geológicas para la conversión tiempo-profundidad de las líneas sísmicas del área de estudio.
- Interpretación y correlación sismo-geológica de los pozos perforados.

Hipótesis:

Si se logra la aplicación correcta de los diferentes métodos sísmicos así como su integración con los registros geológicos de pozos existentes en el área permitirán obtener una correcta calibración de los horizontes lito-estratigráficos, lo que a su vez posibilitará la confección de varios perfiles sismo-geológicos. Una correcta definición de la imagen del subsuelo en espacio, profundidad y tiempo, podrá augurar zonas con nuevas perspectivas gasopetrolíferas.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO-REFERENCIAL

I.1 CUENCAS SEDIMENTARIAS EN CONTEXTOS TECTÓNICOS DE CONVERGENCIA. GENERALIDADES

Una cuenca sedimentaria es o ha sido cualquier parte subsidente de la superficie terrestre, donde se han acumulado espesores considerables de sedimentos que se han conservado durante largos períodos de tiempo. En la mayoría de los casos la subsidencia está controlada por ajustes isostáticos, que a su vez son el resultado de la extensión o la flexión de la litosfera (Ingersoll y Busby, 1995). Las cuencas sedimentarias han sido clasificadas en función del tipo de substrato litosférico sobre el que se desarrollan (continental, oceánico/transicional), su posición respecto a las placas tectónicas (límites de placas, intraplaca), y el movimiento relativo entre las placas (divergente, convergente o transformante) (Dickinson, 1974, 1976; Kingston et al., 1983; Mitchell y Reading, 1986; Ingersoll, 1988; Miall, Busby, 1995 y 2000; Ingersoll) ver figura I.1 y Tabla I.1.

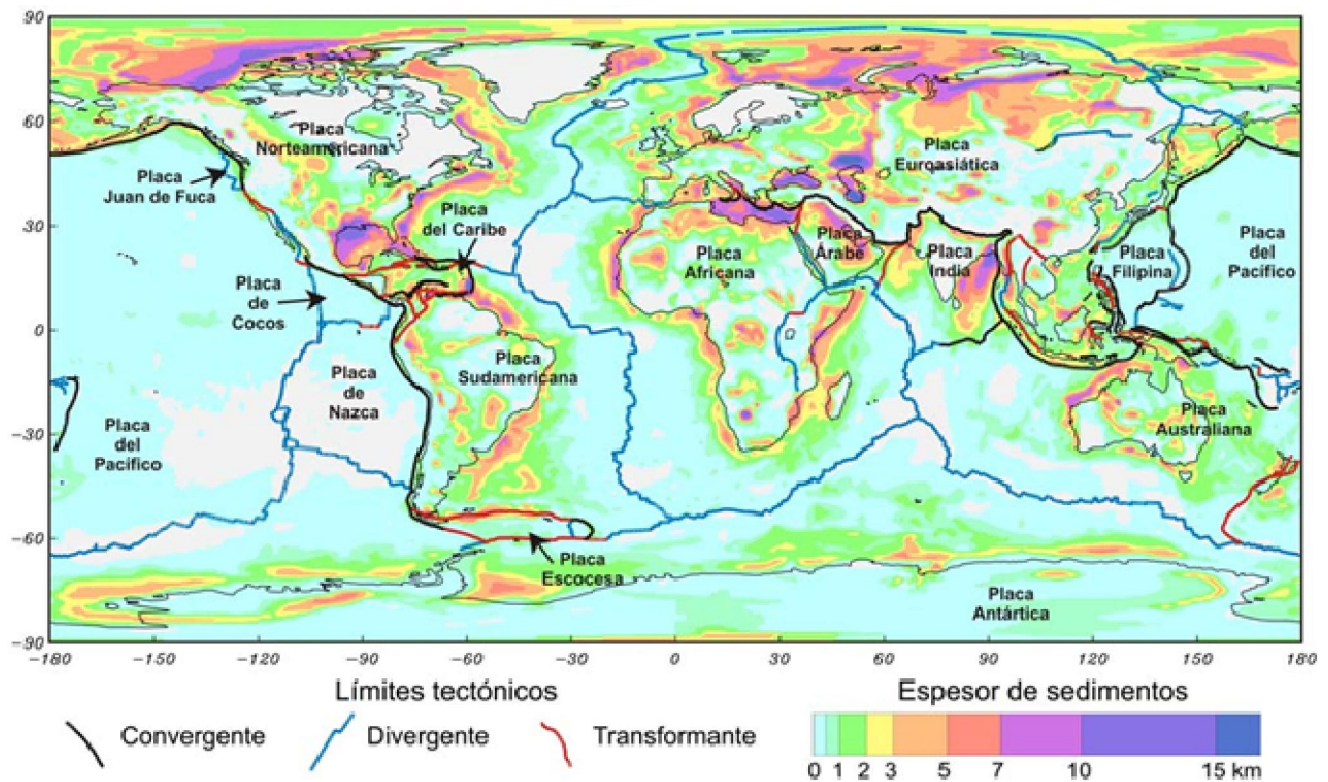


Figura I.1: Distribución de los principales límites tectónicos, placas litosféricas y el espesor de los sedimentos a escala global. El mapa de espesor de sedimentos ha sido modificado de *Laske y Masters (1997)*.

Tabla I.1: Clasificación de las cuencas sedimentarias desarrolladas en contextos tectónicos de convergencia, compilada de Einsele (2000).

Categoría de cuencas	Tipologías	Posición tect. (substrato)	Control de la subsidencia	Características
Relacionadas con la subducción	-fosas oceánicas -de ante arcos -de intra-arcos -de tras-arcos -de inter-arcos	Límites de placas (oceánico) Límites de placas (continental, transicional u oceánico)	Compresión, flexión litosférica Extensión	Parcialmente asimétricas, de profundidad y subsidencia muy variadas
<i>Relacionadas con la colisión</i>	-remanentes -de antepaís -a cuestas -intramontanas	Límites de placas (oceánico) <i>Límites de placas (continental o Transicional)</i>	Compresión <i>Flexión litosférica, compresión o desgarre</i>	Subsidencia activa por carga sedimentaria. <i>Asimétricas, subsidencia en aumento, elevación y hundimiento contemporáneos</i>
De desgarre	-transtensivas -transpresivas -transrotacionales -poligenéticas	Límites de placas o intraplacas (continental y/u oceánico)	Desgarre, ± extensión o compresión	Relativamente pequeñas y alargadas, rápida subsidencia

Cuencas relacionadas con la colisión

Las cuencas sedimentarias relacionadas con la colisión pueden desarrollarse sobre corteza continental, transicional u oceánica (Figura I.2 a y b). La formación de las cuencas se produce fundamentalmente debido a la flexión litosférica de la placa inferior, aunque localmente se pueden dar regímenes de compresión, de extensión, o de desgarre (Tabla I.1).

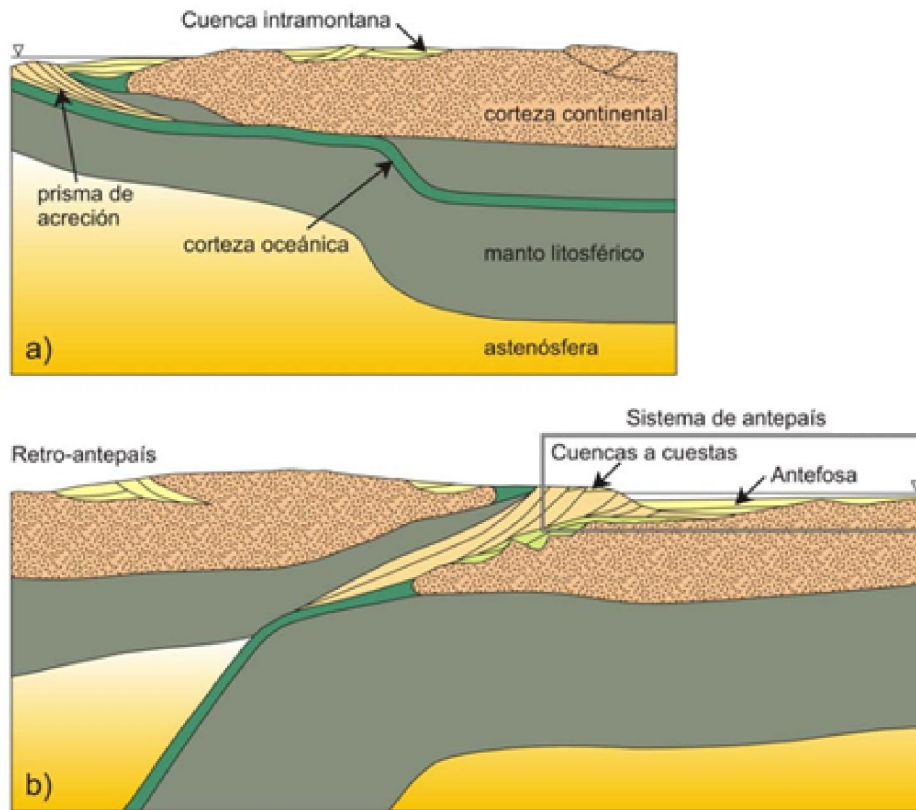


Figura I.2: Modelo de cuencas sedimentarias formadas en contexto de colisión continental. Tomado de Ori y Friend (1984)

Cuencas a cuestras

Las cuencas a cuestras o transportadas (piggyback basin) son aquellas que se desarrollan encima de láminas de corrimiento activas, formando cuencas de antepaís satélites (Ori y Friend, 1984) (Figura I.2 b). El origen de estas cuencas está relacionado con el crecimiento de los cinturones de deformación y la incorporación de partes de la cuenca de antefosa al orógeno. Las cuencas a cuestras tienen la particularidad de que continúan desarrollándose mientras son transportadas tectónicamente, lo cual queda registrado por el acuñaamiento de unidades estratigráficas y por la existencia de discontinuidades dentro de la cuenca transportada.

I.2 ANTECEDENTES GEÓLOGOS PETROLEROS EN EL MUNDO.

Desde el pasado siglo el petróleo es la energía primaria más importante del mundo. Prácticamente todas las actividades económicas se sustentan en el petróleo como fuente energética, representando alrededor del 40% de las necesidades energéticas mundiales. El petróleo es un recurso natural no renovable, por lo que existe la posibilidad de su agotamiento. El precio del barril de petróleo se considera un referente en el sistema energético mundial, y sus oscilaciones afectan a dicho sistema

de forma unidireccional, es decir, las variaciones en la cotización del petróleo afectan al resto de los mercados energéticos, y no a la inversa.

El mercado del petróleo forma parte vital de los mercados financieros, afectando sus variaciones a casi la totalidad del resto de los sectores. Su importancia es tal que ha sido el origen de numerosos conflictos políticos e, incluso, bélicos. Desde hace más de un siglo el papel de los profesionales relacionados con la industria del petróleo ha sido el de localizar y cuantificar las reservas de esta preciada fuente de energía, el cual se encuentra tanto en tierra firme como en el mar, pero que a su vez se necesita integrar numerosas ramas de la ciencia para el descubrimiento de nuevos yacimientos puesto que los hidrocarburos no aparecen aflorando y por esta razón no se hace fácil la explotación de dicho recurso, dado que a la profundidad que aparecen demandan instrumentación de tecnologías cada vez más modernas. Por lo que es de vital importancia conocer los procesos y sistemas que controlan las acumulaciones de petróleo y gas en las trampas, teniendo en cuenta el contexto geológico de cada manifestación dadas las disímiles formas en que pueden aparecer.

I.3 ANTECEDENTES GEÓLOGO PETROLEROS EN CUBA Y EN EL ÁREA DE ESTUDIO

I.3.1 Antecedentes geólogo petroleros en Cuba.

Los primeros inicios de búsqueda de petróleo en Cuba fueron por el año 1872 en el ingenio Economía, al Sur de Varadero y en Motembo, 1881. La región de Cárdenas - Martí en Matanzas, fue considerada de sumo interés por la abundante cantidad de manifestaciones de hidrocarburos en superficie, especialmente en los lugares conocidos por el Peñón y Angelita.

En el período de 1931-1939 no se hizo ningún descubrimiento nuevo, pero durante el mismo se iniciaron los trabajos de carácter geólogo-geofísicos aplicados a la búsqueda de petróleo.

Las compañías norteamericanas en ese período ya habían descartado prácticamente nuestra área insular como de gran perspectiva, ya que nuestro petróleo solamente se encontraba en serpentinitas y con la tecnología y las técnicas existentes para la búsqueda se hacían muy engorroso el descubrimiento de hidrocarburos en este tipo de rocas.

La actividad petrolera del período revolucionario comienza en julio de 1960 con la perforación del pozo Barrena 1 dirigido por un técnico argentino, ya que el país no contaba con ningún especialista calificado en la rama del petróleo, sólo existían algunos técnicos medios desarrollados en la práctica. Durante los primeros años de la Revolución, toda la actividad especializada tenía que

llevarse a cabo con técnicos extranjeros fundamentalmente latinoamericanos. Además con los problemas que esto trae aparejado, puesto que para este entonces Cuba no contaba con un fondo geológico que conservase la información antes descrita por las exploraciones precedentes en áreas investigadas.

Durante la etapa 1966-1971, se tiene en cuenta el criterio de perforar en las fallas geológicas y se ubican los pozos Varadero 1, Camarioca 1 y Chapelín 1. En esta etapa comienzan a trabajar los primeros técnicos cubanos y una gran parte de asesores soviéticos que brindan ayuda al desarrollo del país.

En la década de los 90, uno de los pasos fundamentales fue la división de la República de Cuba en pequeñas concesiones geológicas o bloques de exploración petrolera los cuales eran rentados por las compañías extranjeras que realizaban la búsqueda de este recurso a riesgo; pero con la particularidad que toda la información geológica generada se tenía que quedar en el país aspecto de relevante importancia ya que amortizaba el alto costo de las investigaciones petroleras.

I.3.2 Antecedentes geólogo petroleros en el área de estudio.

A mediados de 1954 en Cuenca Central fue descubierto a partir de los datos de gravimetría el yacimiento Jatibonico. Este descubrimiento tuvo gran relevancia pues descubrió petróleo en rocas tobáceo-sedimentarias y no en serpentinitas como en los casos ya conocidos: Motembo, Jarahueca, Cruz Verde y Bacuranao. Este descubrimiento trajo la revitalización de la industria petrolera y en los próximos años se realizaron los trabajos que se citan en la siguiente tabla. (Tabla I.2).

Tabla I.2 Trabajos gravimétricos y magnetométricos en Cuenca Central de Cuba. Tomado de Martínez, E. (2008).

No	Región	Método	Autores	Año	Resultados
1	Prov. Villa Clara y Camagüey	Levantamiento Aeromagnético	V. Rimanov y otros	1961-62	Se realizó el levantamiento a esc. 1:50 000 que incluye la Cuenca Central y se confeccionó el mapa de anomalías magnéticas.
2	Límite de la cuenca	Gravimétrico	ICRM I. Kireev	1962-63	Lev. detallado gravimétrico a esc. 1:50 000. Se confeccionó el

					mapa de anomalías de la fuerza de gravedad a esc. 1:100 000.
3	Cuenca Central	Gravimétrico	S. Ipatenko	1967-69	Se precisan los contornos de las estructuras y se ubican áreas de interés para ser estudiadas por la exploración sísmica.
4	Mayajigua-Morón	Gravimétrico	M. Rodríguez J.L. Prol y otros	1980	Se precisó la constitución geológica de la región, se confeccionó el esquema tectónico a esc. 1:100 000 y el mapa de anomalías.
5	Ciego de Ávila	Aerogeofísico complejo Magnetometría	IGP	1984	Levantamiento aeromagnético a escala 1:50 000.
6	Cuenca central	Gravimetría	J. L. Prol	1991	Confección del mapa de ΔG Bouguer generalizado a esc. 1:50 000 para el sector nororiental de la Cuenca central.
7	Jatibonico-Pina-Esmeralda	Gravimetría	M. Rodríguez René Domínguez	1993	Se confeccionó el mapa de anomalías de Bouguer a esc.1:50 000 de las áreas de Jatibonico, Pina y Esmeralda. Se realizó un esquema tectónico del sector Jatibonico-Pina-Esmeralda a esc. 1:100 000
8	Cuenca Central Las Pozas-Pina	Gravimetría	J.L. Prol E. Martínez	1993	Levantamiento 1:25 000 del área. Se confeccionó un esquema tectónico del sector.

Las compañías extranjeras, fundamentalmente norteamericanas, realizaron numerosas investigaciones geofísicas, principalmente sísmicas (Tabla I.3). Se desarrollaron además trabajos de geología regional y estratigrafía, algunos de los cuales constituyen importantes obras de consulta aún en la actualidad (por ejemplo, Hatten (1957), Hatten et al. (1958).

Tabla I. 3 Trabajos sísmicos en Cuenca Central de Cuba.

No	Región	Método	Autores	Año	Resultados
1	Cuenca Central	KMPV	N. Kutuzova	1967-69	Reinterpretación de los materiales existentes donde se observaron horizontes refractados con $V_f = 4600-4800$ m/s asociados a la superficie de tobas y $V_f=5300-6000$ m/s asociados a la superficie de las dolomitas. Se confeccionaron mapas estructurales a esc. 1:50 000. Se reveló la elevación “La Rosa”
2	Cuenca Central	MOV	V. Seletsky	1968	Reinterpretación de los materiales norteamericanos disponibles (73,5 Km) y de los trabajos realizados entre 1962-67 de los cuales no había ningún informe. Se obtuvo un esquema estructural general que representa la constitución geológica hasta la profundidad de 4 Km.
3	Gabrieles-Morón	MOV	V. Stenina y otros	1967-70	Confección de mapas estructurales por horizontes convencionales. Se contorneó la

					elevación Morón.
4	Ceballos-Pina		V. Mashkina y otros	1971-73	Se confeccionaron los mapas estructurales por los horizontes asociados al Paleógeno y Cretácico a esc. 1:50 000.
5	Cuenca Central	KMPV	A. Kokoshko	1975	Se observaron diferentes horizontes de refracción.
6	Cuenca Central	MOV Multiplicidad 12 y 6	G. Kirieev	1976	Confeccionó un modelo geológico de la Cuenca Central como resultado de los trabajos de reflexión regionales
7	Cuenca Central	PCP con multiplicidad de 6 y 12	V. Paramonov A. Sorá	1977-79	Se realizaron trabajos de búsqueda a escala 1:50 000. Se aclaró la constitución profunda de la cuenca y se realizaron dos mapas estructurales por el tope del complejo orogénico y preorogénico. Se recomendaron áreas para trabajos de detalle.
8	Cuenca Central	PCP con multiplicidad 12	A. Migachov A. Sorá	1980	Se realizaron trabajos de detalle en la zona Rubio, Cometa, Jatibonico, Catalina y Marroquí.
9	Cuenca Central	PCP 24 y 48 adquiridos por CUPET	Premier Consolidated Oilfields		Se confeccionó un mapa a esc. 1:25 000 por un horizonte cercano al tope de tobas.

Para los años 50 en toda Cuba se perfora y en cuatro años se alcanzan 191 pozos de búsqueda y exploración con un metraje de 177 mil metros o sea tres veces más que en los 40 años anteriores.

Como resultado de las perforaciones se descubrieron cuatro yacimientos más: Cristales y Catalina en Cuenca Central, Santa María y Peñas Altas al este de Bacuranao, todos ellos de pequeña dimensión y asociados a las rocas del arco volcánico y las ofiolitas.

De esta etapa se conocen los trabajos de Estratigrafía para Cuenca Central de Cuba de Wassall, 1953, del campo petrolífero Jatibonico de la Cuban Stanolind Oil Company, 1958, el informe sísmico de la zona de Jatibonico sobre las mediciones magnéticas en la Cuenca de Morón, memorandum e informes de Albear, (1985).

Hasta 1959 continúa la extracción en los 8 yacimientos descubiertos antes del triunfo de la Revolución (Motembo, Bacuranao, Cruz Verde, Santa María, Peñas Altas, Jarahueca, Jatibonico, Cristales), extracción que disminuyó bruscamente en los años 1959-1961 debido al cese de las actividades de las compañías petroleras norteamericanas y la salida al extranjero de la mayor parte de los especialistas cubanos.

Es entonces que a petición del Gobierno Revolucionario de la República de Cuba en mayo de 1960 llegan a La Habana los primeros especialistas de la URSS. Ellos estudiaron los pocos materiales geólogo-geofísicos existentes (abandonados por las compañías) e informaron al Comandante Ernesto “Che” Guevara, entonces Ministro de Industrias, sus conclusiones sobre la conveniencia de realizar trabajos de búsqueda geológica y exploración para petróleo y gas tanto en el territorio como en la plataforma marina. En éstas se recalcó que la búsqueda de petróleo en las serpentinitas era una tarea secundaria, que la búsqueda debería estar concentrada en el estudio de la costa norte y la plataforma marina adyacente, donde podrían ser descubiertas grandes acumulaciones de petróleo y gas.

A partir ahí se comenzó un estudio planificado del territorio, para ello llegó un grupo de especialistas, encabezado por A. S. Bogatiriov, que realizó la generalización de los levantamientos geológicos existentes y confeccionó un mapa geológico de Cuba a escala 1:500 000. Comenzó también el estudio geofísico de la plataforma norte con el barco expedicionario V.Obruchev y la realización de trabajos geológicos de búsqueda con geólogos petroleros y perforadores.

En 1965-1966 la extracción alcanzó unos 57-68 mil toneladas, principalmente con la terminación de la exploración y la explotación del yacimiento Jatibonico que en 1961 produjo 47 mil toneladas. En 1967 se descubrió un nuevo depósito en la parte sur del yacimiento Cristales, asociado este a las tobas del Cretácico Superior, explotación que permitió aumentar la producción del yacimiento de 13,3 mil toneladas en 1965 a 135,1 mil toneladas en 1969.

Como resultado de las investigaciones sísmicas marinas regionales, realizadas por la expedición geofísica del barco V. Obruchev entre 1966-1967, se dan los rasgos principales de la constitución geológica de la llamada entonces “depresión norte cubana”, la cual abarca la costa norte y la zona costera adyacente y se señalan 30 áreas perspectivas para petróleo. Con los trabajos sísmicos marinos de detalle realizados en la zona se ubicaron, durante los años 1968 y 1971, se descubrieron los primeros yacimientos en rocas terrígeno-carbonatadas del Cretácico y el Jurásico Superior.

Como resultado de la explotación de un nuevo depósito en el yacimiento Cristales y del yacimiento Guanabo la producción en 1969 tuvo el nivel record de 206 mil toneladas. Entre 1959-1969 en Cuba se extrajo un total de 520 mil toneladas de petróleo, se perforaron 122 mil metros de búsqueda y exploración y se descubrieron 6 yacimientos. En este período aparecen los primeros trabajos de generalización sobre la constitución geológica y las perspectivas gasopetrolíferas de Cuba o algunas de sus regiones. Entre estos destacan el Mapa Geológico de la República de Cuba a escala 1:1 000 000 editado bajo la dirección de A. Jiménez, (1964).

En 1970 comienza una nueva etapa en el desarrollo en la búsqueda de hidrocarburos. Por resolución del Gobierno, con la colaboración técnica soviética (B.T. Dimanchuk, y S.I. Shadchenco, se llevan a cabo investigaciones geofísicas regionales complejas y perforación paramétrica planificada. Se realizaron para las regiones occidentales y centrales de Cuba 14 perfiles sísmicos regionales según los métodos de reflexión y refracción y se planificaron 25 pozos paramétricos.

Como resultado de las investigaciones regionales se obtuvieron nuevos datos sobre la constitución geológica de los grandes elementos tectónicos, se aclararon los territorios perspectivas del margen continental y en los pozos Esperanza, Martín Mesa y Chapelín se obtuvieron entradas industriales de petróleo.

Desde 1972 y simultáneamente con los trabajos regionales y de búsqueda, comienzan las investigaciones para la generalización científica de los datos geólogo-geofísicos bajo la dirección de Y.A. Klechov, desarrollándose un amplio frente de trabajo de exploración geológica (levantamientos geológicos, gravimétricos, magnetométricos y sísmicos), se incrementan los estudios en la región de la Bahía de Cárdenas, se descubre en 1973 el yacimiento Reforma en Cuenca Central, se perforan en 1975 los primeros pozos de búsqueda en las áreas de Cantel, Guásimas y Cuchillo y se obtiene entrada de petróleo de depósitos del Cretácico Inferior en el Varadero-23.

A finales de la década de 1970 se perforaron 289 mil metros de búsqueda y exploración, se descubrieron 7 yacimientos, uno de los cuales (Varadero) por sus reservas puede ser catalogado entre los grandes yacimientos. En total se extrajeron 1537,4 mil toneladas de petróleo, se perforaron 573 pozos, de ellos 202 con una profundidad hasta 1 Km., 265 hasta 2 Km. y 56 mayores de 2 Km., el volumen total de perforación alcanzó 816 m y el pozo más profundo fue el Morón Norte-1 con una profundidad de 5017 m. (Álvarez, J A. et al 1993).

En esta etapa fue de vital importancia la recomendación de llevar en paralelo y en directa dependencia la actividad productiva y la actividad científica, que resultó en la generalización de toda la información acumulada en un quinquenio lo que permitía tener una visión amplia y colegiada del desarrollo geológico de Cuba a escala regional e insertada al desarrollo del área del Caribe y Norteamérica, a la vez trazar las pautas a seguir en la prospección de hidrocarburos a corto y largo plazo. (Álvarez, J A. et al 1993).

Por ello en 1975 el Grupo de Generalización Científica, bajo la dirección de V.S. Shein, realizó una evaluación muy completa de Cuba que incluye la estratigrafía, tectónica, colectores, sellos, geoquímica y potencial de hidrocarburos del territorio nacional, con amplia cobertura para Cuenca Central.

Yparraguirre J. L., M. Varona. (1996) puntualizan que un papel fundamental en la estructura actual de Cuba y su plataforma marina lo tiene la tectónica disyuntiva, fallamiento, estableciendo dos sistemas fundamentales, el de rumbo noroccidental, que es la dirección de la “sutura ofiolítica principal”, representada morfológicamente por sobre-empujes y fallas inversas, más raramente por fallas normales. El otro sistema es de rumbo nororiental, transversal al primero, y representado por desplazamiento laterales, fallas normales, raramente inversas y edad más joven.

Echevarría, G. (1964) presenta una clasificación de las fallas según la profundidad de su origen distinguiendo las fallas profundas transcorticales y corticales, las fallas de la parte superior de la corteza consolidada y las fallas de la cubierta. Comenta además que las estructuras en Cuba se han formado como resultado de las fases principales del ciclo alpino: austriaca (mitad del Cretácico, la fase preliminar del ciclo), subherciniana (del Cenoniano Inferior de pliegues y sobre-empujes), larámida (del Campaniano Superior de pliegues sobre-empuje y desplazamientos laterales), de Habana (del Paleoceno Superior-Eoceno Inferior de pliegues y sobre-empujes) y de Oriente (del Eoceno Medio- de pliegues y sobre-empujes), distinguen además como fases concluyentes del ciclo (nuevas) la savica (del Oligoceno Superior- Mioceno Inferior), styrica (Mioceno Medio), attica (Mioceno Superior) y Caribe (del Antropógeno). Relacionan entonces el fundamento

cristalino a la pre-alpina, alpina temprana al Triásico?-Jurásico, la alpina media y superior al Tithoniano-Turoniano y Cenoniano-Coniaciano, respectivamente, la preorogénica al Coniaciano-Campaniano Inferior, la orogénica al Campaniano Superior-Paleoceno y la postorogénica al Eoceno-Antropógeno.

Según los estudios de petrología se definen cuatro cuencas o regiones petrogasíferas: Norte-Cubana (exterior), Oeste-Cubana, Centro- Cubana y Este-Cubana (interiores) donde las secuencias con perspectivas gasopetrolíferas en las cuencas interiores se relacionan con las rocas del preorogénico y orogénico y en la exterior con las rocas plegadas del Jurásico Superior-Paleoceno, Echevarría, G. (1964). Este mismo autor comenta que los 22 yacimientos descubiertos en los límites de Cuba responden a tres regiones plegadas: región de hundimientos epieugeosinclinales yacimiento Jatibonico, Cristales, Reforma, Catalina; borde plegado de la depresión marginal yacimiento Boca de Jaruco, Varadero, Marbella, Chapelín, Yumurí, Camarioca Norte, Vía Blanca; zona de recubrimiento tectónico yacimiento. Bacuranao, Santa María, Cruz Verde, Camarioca Sur, Guanabo, Brisas, Peñas Altas, Vía Blanca Oeste, Martín Mesa, Motembo.

Durante los años 1976-1979 se continuaron las investigaciones geólogo-geofísicas y geomorfológicas, realizándose levantamientos geológicos a diferentes escalas, investigaciones geofísicas y geomorfológicas, perforaciones de pozos paramétricos, de exploración y búsqueda así como trabajos temáticos de generalización de la información acumulada. Dentro de las investigaciones geólogo-geofísicas destacan el levantamiento geológico a escala 1: 250 000 realizado por la Academia de Ciencias de Cuba y los levantamientos geológicos a escalas 1: 50 000 y 100 000 llevados a cabo por el Centro de Investigaciones Geológicas del Ministerio de la Industria Básica.

En esa etapa fueron perforados 127 pozos con un metraje total de 226, 404 metros, de estos 67, 685 m en la región gasopetrolífera Varadero-Cárdenas, 67, 807 m en Habana-Matanzas y 37, 738 m en Cuenca Central repartidos en las áreas y pozos Cristales, Majagua, Catalina, Adelaida, Rubio y Cometa. Fueron descubiertos los yacimientos Cantel, Varadero Sur y Guásimas asociados a rocas del Terreno Zaza y del borde sur del Margen Continental en yacencia alóctona. En Cuenca Central no se descubrieron nuevos yacimientos.

En este periodo los mayores volúmenes de investigaciones sísmicas se realizaron por el método de las ondas reflejadas, realizándose trabajos de búsqueda y detalle en diferentes áreas con distintas condiciones sismogeológicas. Los trabajos sísmicos en los últimos años del periodo se realizaron en su totalidad con la metodología de Punto Común de Profundidad (conocido entonces por las

siglas rusas OGT, hoy PCP) esencialmente con recubrimiento de 6 a 24 veces, sistema central y agrupaciones de 11 o más receptores en una base de 50-60 m. La distancia entre los centros de grupo de 30 a 60 m., la distancia máxima de explosión-receptor 900-1400 metros y entre los puntos de explosión 60-240 metros.

En Cuenca Central se realizaron trabajos entre los yacimientos Cristales y Jatibonico el volumen de los mismos fue de 208 kilómetros, revelándose una serie de elevaciones de interés como Jatibonico Sur, Marroquí, La Rosa y otros. En la parte más hundida de la cuenca se estudió el pliegue Catalina. (Tenreyro, R. et. al, 1997). Los trabajos regionales OGT llevados a cabo por Tenreyro, R. et al, (1997) en los perfiles VI-A y VI-B permitieron obtener información sobre la constitución de la cuenca, sus bordes y la parte más hundida.

Durante ese periodo se hizo un estudio de las propiedades físicas de las rocas, densidad y susceptibilidad magnética, en el laboratorio de petrofísica del Centro de Investigaciones para el Desarrollo del Petróleo (CIDP), además se hizo un estudio de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas y un volumen de investigaciones sísmicas de pozos con la ayuda del método Perfilaje Sísmico Vertical.

Los trabajos temáticos y de investigación científica para toda Cuba continúan y están dirigidos fundamentalmente al estudio de la constitución geológica regional, a las secuencias metamórficas, al magmatismo, etc. Somin, M (1981).

Álvarez, J A. et al (1993); analizaron la historia del desarrollo tectónico de la región y sus posibilidades gasopetrolíferas partiendo de la teoría de las placas litosféricas, así como de la tectónica de las cuencas gasopetrolíferas; se hicieron modelos sobre la constitución de todos los yacimientos descubiertos, subregiones y cuencas gasopetrolíferas y posiblemente gasopetrolíferas para búsqueda científica argumentada, exploración y pronóstico, también se dan criterios geoquímicos sobre roca y génesis de los petróleos y hacen recomendaciones para la utilización de métodos geólogo-geofísicos más efectivos para aumentar las posibilidades gasopetrolíferas del territorio, así como del programa científico-técnico de años posteriores.

Un punto de interés y de fundamental utilidad lo es la evaluación tectono-gasopetrolífera que hacen de las cuencas internas, en ella se describe la cuenca gasopetrolífera Central-Cubana y en detalle la subregión “Cuenca Central” para la que se establece existen 53 millones de toneladas (370 MMB) de petróleo pronóstico sin descubrir.

En 1985 se editan el Mapa Geológico de la República de Cuba y el Mapa Tectónico de Cuba, (ambos a escala 1:500 000) por el Centro de Investigaciones Geológicas del MINBAS.

En 1986 el Centro de Investigación y Desarrollo del Petróleo, a solicitud de la Dirección de Prospección y Extracción de Petróleo del MINBAS que constata una situación crítica en relación con la no obtención de resultados positivos en Cuenca Central, emite la generalización del estado de los trabajos y resultados hasta 1985 bajo el informe “Análisis, Generalización y Evaluación de las Posibilidades Gasopetrolíferas de la Cuenca Central y Elaboración de Recomendaciones sobre los trabajos de Prospección Geológica a desarrollar en la misma”.

Este informe que fue ejecutado por un equipo de investigación multidisciplinario el cual es de fundamental interés en el presente estudio, plantea entre sus resultados principales que el territorio de la cuenca está conformado por dos sectores que se diferencian notablemente, no sólo en el grado de estudio sino también en la constitución geológica, la capacidad gasopetrolífera y las posibilidades de descubrir nuevos yacimientos.

Para el sector suroccidental existe un espesor considerable de las rocas del arco de isla y corteza oceánica a juzgar por el espesor de aproximadamente 4 Km cortado en el pozo Jatibonico-78, por debajo del cual existen rocas sedimentarias altamente metamorfizadas. El sector nororiental presenta un menor espesor de rocas de corteza oceánica (pozos S. Francisco-2270 m. y Morón Norte 1-1900 m.) por debajo del cual en contacto tectónico se consideran las rocas de las zonas estructuro-faciales Placetas, Camajuaní y Remedios según los datos aportados por los pozos San Francisco-2 (2015-2199 m-tipo Camajuaní), Morón Norte-1 (2725-5002 m-Remedios), también en este pozo describen por debajo del arco de islas y la corteza oceánica rocas arcillosas de edad Paleoceno-Eoceno Inferior que recubren discordantemente a las rocas carbonatadas de la zona Remedios. Estas por sus características pueden servir de sellos a posibles acumulaciones y pueden estar ampliamente desarrolladas si se consideran los datos del levantamiento geológico de la zona oeste adyacente, donde las secuencias arcillosas terrígenas del Paleoceno-Eoceno Inferior recubren discordantemente a rocas carbonatadas de las zonas estructuro-faciales descritas.

Otro punto de interés está en que Álvarez, J et al (1994); citan analogías entre la región nororiental de la cuenca y las regiones gasopetrolíferas Habana-Matanzas y Varadero-Cárdenas, infieren para éste que al igual que en las regiones citadas los depósitos de las UTE Placetas, Camajuaní y Remedios subyacen en contacto tectónico a las rocas del arco de islas y corteza oceánica quienes a su vez están recubiertos por los complejos orogénico y postorogénico, lo que es de suma importancia si tenemos en cuenta que la práctica ha demostrado que las condiciones de conservación de los yacimientos en las citadas subregiones son mejores en comparación con las zonas donde los sedimentos carbonatados y arcilloso-terrágeno afloran.

Por la analogía antes mencionada es posible la existencia de depósitos petrolíferos en el tope de la secuencia del arco de isla y corteza oceánica similares a los existentes en Cantel y Boca de Jaruco entre otros, con la diferencia de que la profundidad de yacencia de los mismos sería mayor.

Sobre el preorogénico es interesante la relación con sus “características de complejo intermedio entre las formaciones del arco de isla y las formaciones sedimentarias caracterizadas por cambios litológicos bastante bruscos que no tienen regularidad en su comportamiento por lo que es poco probable predecir en él el mejoramiento o empeoramiento de las propiedades colectoras. Álvarez, J et al (1994).

De las recomendaciones emitidas en los informes del año 1986 y el éxito alcanzado en Pina, en 1993 se adquiere sísmicas de reconocimiento PCP por parte de CUPET y la compañía inglesa PREMIER en la porción noreste de la cuenca. De ésta resulta la propuesta de cinco objetivos de interés de los cuales se perfora en 1997 el pozo Brujo, que resultó productor en conglomerados tobáceos del Cretácico Superior- Maastrichtiano semejante al corte de los pozos ubicados al noreste del yacimiento Pina.

Un dato interesante en esta década lo aporta el estudio geoquímico de los petróleos realizado durante los trabajos de evaluación del potencial de exploración del B-21 A (Álvarez, J. et. al, 1994) que permiten inferir la presencia de la UTE. Camajuaní y Placetas en profundidad.

Tenreiro, R. et. al, (1997) emite un informe sobre la neotectónica y tectónica postorogénica relacionada con el potencial y la exploración de hidrocarburos donde resalta como puntos de interés, el hecho de que el límite oriental de la zona Las Villas ha sido interpretado históricamente como una falla, denominada La Trocha, a la que se le ha otorgado un carácter cizallante y cuya manifestación en superficie es evidente por, sobre todo en el extremo oriental de las Alturas de Las Villas. Plantea además que el orógeno termina en el Eoceno Superior y coincide con la creación del sistema de fallas de transformación Bartlett-Caimán, fenómeno que dicta un cambio entre el tipo de frontera entre placas de colisión frontal a lateral. Así como que es el Mioceno Inferior, al parecer, el momento de reactivación orogénica relacionado con las fallas de cizalla y que las estructuras coinciden con la inflexión de las fallas las cuales provocan componentes de compresión (estructuras positivas) y de extensión (estructuras negativas) que complican la estructuración orogénica existente, también hacen mención a la orogenia Caribeña (Plioceno-Cuaternario) como un elemento que complica el paisaje existente.

Como conclusión de este informe citado se plantea la ocurrencia de dos momentos de formación de estructuras durante la etapa post-Eoceno, con nuevas estructuras positivas y negativas que se

sobre imponen a la orogenia de cabalgamiento previa, donde los datos parecen indicar un régimen fundamentalmente transpresivo asociado a juego de fallas del basamento cristalino durante el Mioceno Inferior y el Plioceno-Cuaternario y que los sistemas de falla conjugadas sintéticas y antitéticas van a ser una vía complementarias de migración de los hidrocarburos desde las zonas de cocina debajo de los cabalgamientos hacia las trampas formadas con anterioridad durante la orogenia.

En el año 2000 DIGICUPET, hace una generalización de los trabajos sísmicos y gravimagnetométricos y se propone una serie de altos estructurales de interés, de los cuales se perfora la estructura Ciro con el pozo Ciro-1 que quedó ubicado en la parte más baja de la estructura Brujo. Sorá, A et. al., (2000)

Álvarez, J. et. al, (2000) acomete la generalización y evaluación de Objetivos y Prospectos en la parte norte de toda Cuba centro-oriental, el cual plantea que la falla rumbo deslizante NE-SO La Trocha-Tuinicú es la responsable de la formación de Cuenca Central que viene desarrollándose desde el Campaniano-Maastrichtiano, cuando la sedimentación ocurrió fundamentalmente en numerosas cuencas intramontanas “acuesta” con algunas partes levantadas (Jatibonico y Majagua), donde las fallas con dirección NE son las responsables de la migración.

En el 2004 CUPET adquiere 18 líneas sísmicas MPCP con vista a detallar las áreas de interés, éstas fueron procesadas en DIGICUPET, primeramente con migración después de la suma (PST) y luego, conjuntamente con otras líneas adquiridas con anterioridad, a migración antes de la suma en tiempo y profundidad (PSTM, PSDM), emitiéndose para los diferentes estadios del procesamiento informes de interpretación Álvarez, J. et al, (2000). A tal efecto se construyeron mapas por el por el tope del Cretácico Superior-productor y la base del Terciario por su carácter regional y se perforan los pozos Naranjo-1X, que cortó un espesor considerable de secuencias del Paleógeno y del Maastrichtiano sin manifestaciones, el Villa-1X, en las proximidades de Cacahual, que cortó el Maastrichtiano sin manifestaciones y Las Marías 1X, al oeste del yacimiento Pina, que resultó con averías pero presentó manifestaciones a los 895 m. a semejanza del Pina-139 productor.

Numerosos son los pozos someros para la cartografía geológica y de pozos profundos, de hasta más de 4000m (Jatibonico-78), para la búsqueda de hidrocarburos. Estos cuentan con recuperación de testigos, ripios, secciones delgadas, pulidas y registros de hidrocarburos, así como con los paquetes de registros estándar (Resistividad, Potencial Espontáneo, Gamma, Neutrón-Gamma, Caliper, etc.) y columnas lito-estratigráficas, también se cuenta con estudios de Sismocarotage

(Jatibonico-78, Rubio-1, Catalina-5, 14, Sancti Spiritus-1). Muchos de estos pozos cuentan con nuestro petrofísico de análisis de densidades y susceptibilidad magnética.

Martínez, E. (2008), presenta la configuración estructural y perspectivas gasopetrolíferas de cuenca central. (bloques petroleros: 21 a y 23), por medio de la interpretación sísmica concluye que Cuenca Central es un mínimo gravimétrico del campo regional conformado por dos lóbulos (A y B) separados por un máximo, donde el lóbulo B, al sur, responde a grandes espesores de las rocas del Terciario- Reciente: cuenca Jatibonico (Bloque 23) y el lóbulo A, al norte- noreste, a: la presencia de espesores de varios cientos de metros de rocas sinorogénicas del Cretácico-Paleógeno Temprano y postorogénicas del Terciario-Reciente, al levantamiento de las rocas del Terreno Zaza y al levantamiento de rocas sedimentarias de baja densidad (tipo UTE. Placetas y Camajuaní) que le subyacen (Bloque 21 A), separados ambos lóbulos entre sí por el máximo Jatibonico, que responde a un levantamiento por apilamiento de las rocas del arco sobre las ofiolitas (Terreno Zaza).

La cuenca está limitada al suroeste por la falla Zaza, al este-sureste por la falla La Trocha, que se pierde en la inmediaciones del yacimiento Cristales, al oeste-noroeste por la zona de falla Tuinicú y al sur del Bloque 21 A por la falla Cristales. La Zona Suroccidental constituye una cuenca con espesores del Terciario de más de 4500 m que se hunde al sur en el golfo de Ana María. A esta cuenca en la literatura especializada se le conoce como Cuenca Jatibonico y su base está representada tanto por el tope del basamento plegado como por las rocas sinorogénicas que le acompañan (piggy back basin). En el cuadro de ondas calibrado a los depósitos del Terciario se siguen numerosos horizontes sísmicos que pudieron ser calibrados con los pozos profundos, los que por su configuración y disposición permiten distinguir varias sismosecuencias, parasecuencias y facies sísmicas relacionadas a eventos transgresivos y regresivos.(Martínez. E, 2008).

La Zona Nororiental está en una posición hipsométrica más alta y representa a la zona de recubrimiento tectónico donde las secuencias del basamento plegado se reconocen desde los 400 m en adelante, aquí el espesor del Terciarios puede llegar a unos cientos de metros al igual que los sedimentos sinorogénicos del Cretácico. En algunos pozos se han cortado las serpentinitas y en varios cortes en profundidad (PSDM) se observan reflexiones entre los 3000-3500 m en forma de pliegues que se infieren están asociadas a rocas carbonatadas de aguas profundas tipo UTE. Placetas-Camajuaní. La Zona Nororiental está afectada, fundamentalmente en su porción norte-noroeste, por eventos compresivos neotectónicos de dirección noroeste que produjeron el plegamiento de las secuencias del Terciario, producto de que los frentes de cabalgamiento en la

región de Las Villas se convirtieron en fallas de deslizamiento por el rumbo. Al norte-noreste se ubica el borde de la cuenca Morón aparentemente relacionada a una falla listrica con inclinación al noreste, que funcionó como roll-over y sufrió inversión tectónica. Las mayores posibilidades gasopetrolíferas están en la Zona Nororiental, tanto por su posición hipsométrica como porque en ella confluyen: el plegamiento y sobrecorrimento Cretácico SO-NE, el sistema de fallas de rechazo horizontal de finales de la orogénia SO-NE, el plegamiento y fallamiento neotectónico NO-SE y el fallamiento E-NE con inversión tectónica.

Martínez, E. (2008), En las áreas Pina-Paraíso y norte-noreste de Pina fueron destacados tres altos estructurales, por los cuales fueron construido mapas estructurales (cerca a la base del Maastrichtiano-tope del horizonte productivo) a escala 1:25 000. Se realizó un estudio experimental de los atributos sísmicos amplitud, fase y frecuencia con vista a destacar anomalías sísmicas de interés.

Sosa, C. et al. (2013) Comenta que el área de Angelina-Catalina presenta una conspicua información geológica, por haber sido objeto de numerosos trabajos exploratorios que comenzaron a mediados del siglo pasado, existen tres pequeños yacimientos de petróleo, clasificados como tal, además de numerosas manifestaciones y pequeños depósitos que no han podido ser calificados como yacimientos, entre ellos, depósitos gasíferos que han sido explotados en diferentes épocas. El amplio conocimiento estratigráfico de la cuenca ha sido un factor importante a tener en cuenta, conocimiento que ha podido acumularse a partir de los diferentes trabajos realizados y novedosas investigaciones mundiales con la que hemos contado: los de geología de superficie, los estratigráficos, los geofísicos (sísmicos y campos potenciales) y la perforación de cientos de pozos. Dataciones radiométricas para el estudio de muestras que contienen fósiles área de investigación han sido usadas para analizar los sedimentos del Eoceno en el pozo Jatibonico 78. Este estudio ha mostrado que la duración de la discordancia del Eoceno Medio con el Eoceno Superior es de 2.7 millones de años (38.8-41.5).

CAPÍTULO II. CARACTERÍSTICAS FÍSICO- GEOGRÁFICAS. GEOLOGÍA REGIONAL Y DEL ÁREA DE ESTUDIO.

II.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS.

II.1.1 Ubicación Geográfica

La región en estudio se encuentra ubicada en la porción central de Cuba dentro de los límites de las provincias Sancti Spíritus y Ciego de Ávila y presenta un área aproximada de 4370 Km² comprendida en dentro del Bloque 23. Ubicada en la región físico-geográfica central, ocupa al este una franja de la Llanura de Júcaro-Morón y al oeste parte del flanco oriental de las Alturas de Sancti Spíritus (Macizo de Guamuhaya) y de las Alturas de Santa Clara. Al norte-nordeste colinda con el grupo topográfico Alturas del Nordeste de la Cordillera de Las Villas. Nuevo Atlas Nacional de Cuba; Oliva, G. G. (1989). (Figura II.1). Las coordenadas correspondientes son:

X 1_ 676908 Y1_242250	X2_700935 Y2_242250
X3_700935 Y3_224052	X4_676920 Y4_224052

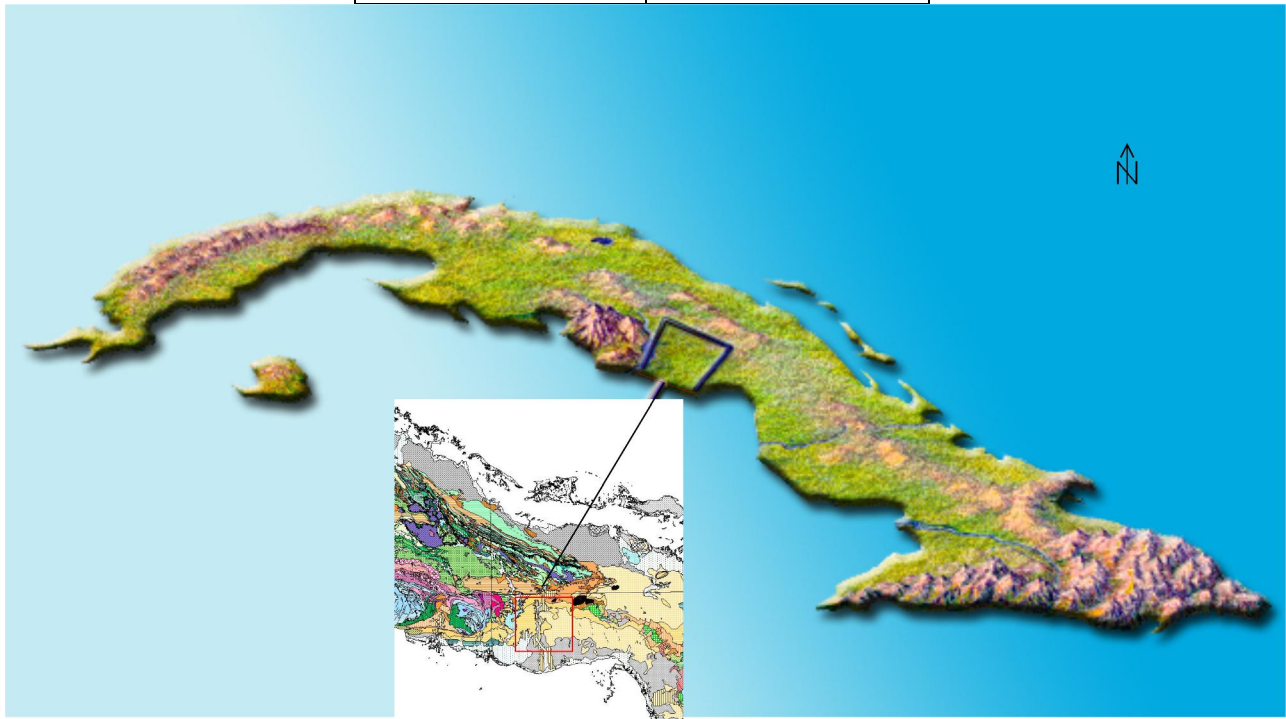


Figura II.1: Mapa de ubicación geográfica del área de estudio. Cuba Central. Bloque 23. Escala 1: 250 000.

II.1.2 Relieve

En su morfología destacan zonas de llanuras de tipo marinas lacuno-palustre, abrasivo-acumulativas ligeramente diseccionadas, abrasivas y abrasivo-denudativas diseccionadas; fluviales de llanuras y terrazas, erosivas y erosivo-denudativas altas, diseccionadas. También están presentes las de tipo denudativas (de peniplanos y pediplanos), erosivo-denudativas y de zócalo onduladas o diseccionadas con colinas residuales. En general las cotas absolutas del relieve varían entre 0-270 m.

II.1.3 Hidrología

La red fluvial cuenta con los ríos de la vertiente sur Zaza, Jatibonico del Sur, Guanabo, Majagua y Guayacanes, con los de dirección oeste-este Palizada y Charco Hondo y de la vertiente norte Naranjo. Al suroeste se localiza la mayor presa del país, Presa Zaza, con una capacidad de embalse de 1020.0 millones de m³. Los riachuelos y canales durante la época de lluvias aumentan considerablemente su caudal.

II.1.4 Clima

El clima es subtropical moderado que recibe la acción de los vientos Alisios y durante el invierno las masas de aire frío provenientes del norte. En general presenta las dos estaciones, verano e invierno, con un período seco (Noviembre-Abril) y un período lluvioso (Mayo-Octubre) con una precipitación media entre los 1200-1600 mm. La temperatura media anual es de aproximadamente 25° con una variación de 2-5°. La humedad relativa promedio alcanza un 79%.

II.1.5 Vegetación

La vegetación es de costas marinas, ríos, lagunas y embalses, arbórea de bosques, llanuras bajas de mal drenaje y matorrales y de vegetación foránea del tipo sabanas de palma real, caña de azúcar, café y tabaco.

II.1.6 Condiciones socio-económicas

Los asentamientos poblacionales más importantes y cercanos son: Sancti Spiritus, Taguasco, Jatibonico, Majagua, Ciro Redondo (Pina) y Morón, los que están enlazados entre sí y al resto del país por la Carretera Central y otras carreteras de segundo y tercer orden, la Vía Férrea Nacional y la vía férrea azucarera.

II.1.7 Principales renglones económicos

En el renglón económico el área está destinada a los cultivos agrícolas, principalmente la caña de azúcar, los cítricos, el arroz, tabaco, la ganadería, la pesca. Otro renglón económico es la explotación de materiales de construcción, la prospección petrolera y la confección de productos plásticos, muebles, calzados, textiles y artes gráficas.

II. 2 GEOLOGÍA REGIONAL Y DEL ÁREA DE ESTUDIO

II.2.1 Geología.

Cuenca Central se encuentra ubicada entre dos bloques con características parcialmente similares: el Bloque Las Villas y el Bloque Camagüey (figura II.2), separados entre sí por la zona de fallas La Trocha.

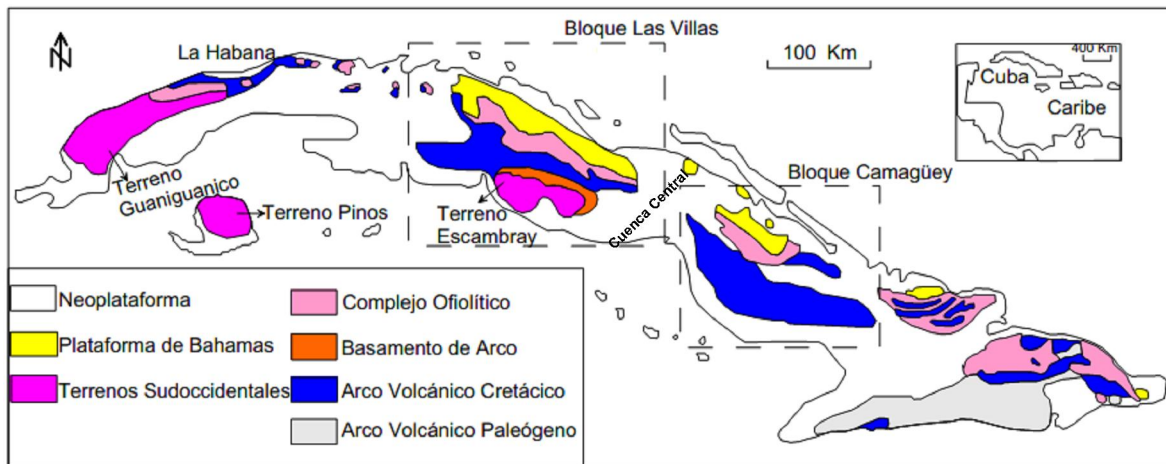


Figura II.2: Mapa esquemático del territorio cubano, que representa el modelo de su constitución geológica.

Como se puede observar, al norte y fuera del área de los trabajos afloran las rocas pertenecientes al paleomargen continental, con las secuencias del Jurásico Superior-Cretácico Superior Temprano, correspondientes a la plataforma de Bahamas, estas con sus depósitos del Cretácico Superior Tardío, Paleógeno Inferior - Medio conforman la cuenca de tipo piggy back. Al oeste y este afloran las rocas del Terreno Zaza conformados por la Asociación Ofiolítica, el Arco Volcánico Cretácico así como el núcleo metamórfico compuesto por la Formación Porvenir, el complejo Mabujina. (Martínez, E. et al 2003).

En general en superficie de oeste a este tienen un amplio desarrollo los sedimentos del Eoceno Medio-Oligoceno, Mioceno y Cuaternario, que cubren las rocas más antiguas.

La cuenca, dispuesta sobre un basamento plegado y sobrecorrido del Terreno Zaza, comprende los depósitos sinorogénicos del Campaniano Tardío y el Eoceno Medio desarrollados durante la compresión y los sedimentos postorogénicos dispuestos desde el Eoceno Medio Tardío hasta el Reciente.

Como es conocido en el área existen acumulaciones industriales y manifestaciones de hidrocarburos genéticamente asociadas a rocas madre tipo carbonatadas y en menor grado carbonato-arcillosas correspondientes a las rocas Jurasico- Cretácicas de la plataforma de Bahamas y que fuera del área en estudio las rocas del Terreno Zaza sobreyacen las secuencias carbonatadas de la Plataforma de Bahamas reconocidas rocas madre, lo que justifica se infiera la presencia de éstas, tanto plegadas como sobrecorridas, en los límites del área de estudio.

II.2.2 Estratigrafía

La constitución geológica, respaldada por la perforación de numerosos pozos en área de estudio presenta numerosos datos de superficie en el área y zonas aledañas (Figura II.3, II.4, II.5), por ello se reconocen e infieren los siguientes complejos petrotectónicos:

- ◆ Rocas del Terreno Zaza (Arco Volcánico Cretácico y Asociación Ofiolítica)
- ◆ Rocas del Margen Continental (UTE Placetas , Camajuaní y Remedios)
- ◆ Sedimentos sin-orogénicos asociados de tipo Piggy Back (Cretácico Superior – Eoceno Medio- parte baja)
- ◆ Sedimentos Pos-orogénicos o Neoautóctonos (Eoceno Medio-parte alta – Reciente).

Periodo	Epoca	Edad	Columna	Pet (m)	Litología	Paleontología
CRETACICO	PALEOGENO				Areniscas, arcillas calizas arcillosas	Morozovella formosa, acarinia brodermanni
					Calcarenitas	No fauna
	Superior	Cenomaniano-turoniano			Calizas, calcilitas, calcarenitas	Hedbrella Troidea
					Silicitas, argilitas y calizas	Ticinella spp, Hedbergella spp.
		Neocomiano			Calizas bituminosas lititas arcillosas rocas efucivasel la base de la secuencia	Calpoinellidae, Nannoconus S.L
JURASICO	Superior	Oxfordiano-Tithoniano		T. Zaza (1200-1500)	Intercalaciones de areniscas cuaríferas y argilitas cuarcíferas	No fauna

Figura. II.3 Columna geológica generalizada para Cuenca Central (UTE Placetas) según C. Perera, J. R. Sánchez. 1994 modificada por el autor









Periodo	Epoca	Edad		Columna	Pot (m)	Litología	Paleontología
CRETACICO	Superior	Turoniano- Campaniano			TERRENO ZAZA (3500-4000)	Tobas de composición andesítica, intercalación de tobas argilitas areniscas y basaltos	Globotruncanita. Calcarata, G. Stuarti, Rosita fornicata
							
	Inferior	Aptiano- Albiano				Andesito- basaltos, intercalaciones de tobas, areniscas	Hedbergella, Biozona Ticinella, Robrti
						Riodacitas, dacitas, tobas Basaltos, areniscas	
		Neo- comiano				Diabasas, Gabros	
	Serpentinitas						

Figura. II.4 Columna geológica generalizada para Cuenca Central (Terreno Zaza) según C. Perera, J. R. Sánchez. 1994 modificada por el autor

Periodo	Epoca	Edad	Columna	Pot (m)	Litología	Paleontología
NEO GENO	Mio cenico			Sed. pos-orog (300-1000)	Calizas fragmentarias, areniscas margas, conglomerados calizas organógenas	Elphidium sagrai, mogy dsina spp haplocytheridea
PALEÓGENO	Oligoceno				Areniscas, calizas	Globorotalia opima
	Eoceno	Priaboniano		Sed. pos-orog (300-1000)	Areniscas polimicticas, conglomerados, margas conglomerados tobaceos	Turborotalia Cerroazulensis
		Britoniano Luteciano			Margas arcillosas, polimicticas, conglomerados	Morozobella lenneri Amphistecina spp
		Pre sia ro			Calizas arcillosas, polimicticas, conglomerados	Morozobella formosa M.Rex M Aragonensis
	Paleoceno	Daniano- Thanetiano		Sed. sinorogénicos (3500-4000)		Morozobella vulcano gensis, M Acuta
CRETACICO	Superior	Campaniano- Maestrichtiano			Calizas arcillosas, areniscas polomicticas conglomerados tobaceos, calizas organógenas	Rosita contusa recemi guembelina fructicosa rudistas moluscos, algas

Figura. II.5 Columna geológica generalizada para Cuenca Central (Sedimentos sin-orogénicos y pos-orogénicos) según C. Perera, J. R. Sánchez. 1994 modificada por el autor

De estos grupos los más importantes son las secuencias del Arco Volcánico y los sedimentos sinorogénicos asociados, las primeras por su vinculación con los yacimientos Pina, Jatibonico, Catalina y por sus implicaciones de importancia regional; los segundos por contener en primer lugar el sello regional de los yacimientos conocidos y en segundo lugar por presentar también acumulaciones de hidrocarburos (yacimientos Cristales, Brujo).

II.2.2 Rocas del Margen Continental Pasivo Norteamericano.

Las unidades del margen continental de la Placa Norteamericana presentes en Cuba son representativas de tres dominios paleogeográficos distintos: 1) Margen de Yucatán, 2) Margen de

Bahamas, y 3) Caribeana. Aunque estos tres dominios se desarrollaron en condiciones similares, sus características estratigráficas y estructurales son distintas (Cruz Orosa 2012).

Para el desarrollo de esta investigación resulta de gran interés el Margen de Bahamas ya que sus unidades afloran en el centro del país de forma discontinua principalmente en la parte norte del orógeno. Según las descripciones de Meyerhoff y Hatten, (1968, 1974) y Hempton y Barros, (1993), la estratigrafía de dichas unidades constituye un típico margen pasivo progradante, en el cual se diferencian los dominios deposicionales de plataforma carbonatada y de cuenca marina abierta. Las formaciones asociadas al margen continental pasivo de Norteamérica son desarrolladas generalmente en zonas próximas al talud continental, en un ambiente batial o sea de aguas marinas profundas, formando generalmente rocas carbonatadas y silíceas. Este margen inició su desarrollo durante el Jurásico Medio-Tardío (Pindell y Dewey, 1982). El basamento de esta placa se constituye de rocas metasiliciclásticas neoproterozoicas, mientras que la cobertura está compuesta por rocas pertenecientes a secuencias típicas de rift. En Cuba, las principales unidades que responden a las características del Margen Pasivo de Norteamérica son Cayo Coco, Remedios, Camajuaní y Placetas (Iturralde-Vinent, 1997, 1998). Las unidades tectónico-estratigráficas (UTE) que aparecen en el área de estudio son Placetas y Camajuani.

Unidad Tectónico-Estratigráfica Placetas

La UTE Placetas limita al sur con el terreno Zaza y por el norte, con el terreno Camajuaní. Se desarrolla en la región central de Cuba, también aflora en varias localidades de la Cordillera Norte de las Villas y en la Sierra de Camaján, en Camagüey. Está constituida por una potente secuencia carbonatada-silíceas y parcialmente terrígena, representativa del Margen Continental (Blanco, 1999), que abarca el intervalo desde el Jurásico Superior hasta el Maastrichtiano. En esta zona se incluyen las formaciones siguientes:

- **Formación Constancia**

(Truitt y Pardo, 1953), se desarrolla en la parte norte de la provincia de Villa Clara, está formada por areniscas calcáreas, calizas arenosas, conglomerados de fragmentos pequeños, limolitas calcáreas, margas y arcillas. Su edad es del Jurásico Superior (Tithoniano)-Cretácico Inferior (Berriasiano), (Léxico Estratigráfico de Cuba, 2002).

- **Formación Veloz**

(Hatten et al., 1958), se desarrolla en forma de franjas en la parte norte de las provincias de Matanzas, Villa Clara, Sancti Spíritus y Camagüey. Está constituida por calizas micríticas, calcilutitas, calcarenitas e intercalaciones de argilitas y silicitas. Su edad es Jurásico Superior (Tithoniano)-Cretácico Inferior (Barremiano), (Léxico Estratigráfico de Cuba, 2002)

- Formación Santa Teresa

(Wassall, 1953) de edad Cretácico (Aptiano-Cenomaniano), aflora en forma de fajas muy plegadas y dislocadas al norte de las provincias de Villa Clara y Camagüey. Está formada por calcedonitas radioláricas de color pardo oscuro, argilitas silíceas, arcillas limolíticas, calizas y margas (Iturralde-Vinent et al., 1981). (Léxico Estratigráfico de Cuba, 2002).

- Formación Carmita

(Truit, 1953), se desarrolla en forma de franjas alargadas y estrechas en las provincias de Pinar del Río, Villa Clara, Sancti Spíritus y Camagüey. Está formada por calizas de distintos tipos, con predominio de las micríticas, silíceas y detríticas de color blanco a crema claro y, en menor grado, crema oscuro a rojo ladrillo; con intercalaciones de argilitas, limolitas, silicitas pardas y rojas, areniscas calcáreas, calizas arenosas y margas. Su edad es del Cretácico Superior (Cenomaniano-Santoniano)?. (Léxico Estratigráfico de Cuba, 2002).

- Formación Amaro

(Wassall, 1953) se desarrolla al noreste de la provincia de Matanzas y al norte de Villa Clara, Sancti Spíritus y Camagüey. Está formada por brechas, brecho- conglomerados con fragmentos mal seleccionados de areniscas calcáreas, calizas detríticas, silicitas y arcillas. Su edad es correspondiente al Cretácico Superior (Maastrichtiense Superior). Las características de la secuencia deposicional indican un ambiente de aguas profundas sobre el talud continental, estando recubiertas discordantemente por brechas del Maastrichtiense de la secuencia de la cuenca de antepaís (Cobiella, 1984; Draper y Barros, ed. 1994) que son indicadoras de las primeras deposiciones de sedimentos ligadas a los eventos tectónicos de obducción del margen pasivo por el Cinturón Plegado Cubano (Blanco, 1999). Las secuencias litológicas que conforman la zona de Placetas están fuertemente dislocadas por plegamientos y fallas. (Léxico Estratigráfico de Cuba, 2002).

Unidad Tectónico-Estratigráfica Camajuaní.

Esta zona está muy bien representada en la región norte de Las Villas, mientras que en Camagüey no se han reportado sus secuencias en superficie, aunque se supone que existan en profundidad (Blanco, 1999). Se presenta formando bandas alargadas con una anchura entre 2 y 10 Km. Limita tectónicamente por el norte y por el sur con las zonas de Remedios y Placetas respectivamente. Está formada por rocas terrígenas, areniscas, arcillas; carbonatadas, calizas, margas y silicitas, pedernales; que se alternan en el corte. Está representada por las formaciones siguientes:

- **Formación Trocha**

(Ortega y Ross, 1931), aflora principalmente entre Rancho Veloz y Sagua la Grande y en menor grado se extiende entre las localidades de El Sitio y Encrucijada. Está formada por calizas de colores oscuros, a veces, en bandas o abigarradas; en menor cantidad, pueden aparecer dolomitas, calizas oolíticas, y capas o lentes de silicitas, conglomerados y brechas calcáreas. Su edad es Jurásico Thitoniano- Cretácico Berriasiano, (Léxico Estratigráfico de Cuba, 2002).

- **Formación Margarita**

(Hatten et al., 1958), aflora en forma de franjas alargadas al norte de la provincia de Villa Clara. Está formada por calizas cremosas microgranulares, arcillosas, silicitas y conglomerados brechosos y calcáreos. Su edad se estima del Cretácico Inferior (Berriasiano-Hauteriviano Inferior), (Léxico Estratigráfico de Cuba, 2002).

- **Formación Mata**

(Wassall, 1953), se desarrolla al norte de la provincia de Villa Clara y está compuesta de calizas microgranulares, arcillosas, aporcelanadas, fragmentarias, silicitas primarias, pedernal fragmentario, conglomerados brechosos y calcáreos, y algunas arcillas. Las calizas son de color gris y las silicitas casi negras. Su edad es Cretácico Inferior (Albiano)-Cretácico Superior (Cenomaniano), (Léxico Estratigráfico de Cuba, 2002).

- **Formación Lutgarda**

(Wassall, 1953), aflora en forma de una franja estrecha al norte de las provincias de Villa Clara y Sancti Spíritus. Está constituida fundamentalmente por: calizas, silicitas y arcillas de edad Cretácico Superior (Maastrichtiense). El corte de Camajuaní es, fundamentalmente, carbonatado de ambiente pelágico, representativo del talud continental (Blanco, 1999). Las secciones están fuertemente deformadas y sobrecorridas hacia el noreste, a manera de un conjunto de numerosos

pliegues/escamas tectónicas superpuestas (Meyerhoff y Hatten, 1968; Pushcharovsky et al., 1989), (Léxico Estratigráfico de Cuba, 2002).

II.2.3 Rocas del Terreno Zaza:

El Terreno Zaza se identifica fundamentalmente en el bloque Las Villas, al este del margen de las Bahamas. De norte a sur se encuentra conformado por; el Cinturón Ofiolítico; el Complejo Vulcano-sedimentario; el Complejo Plutónico (estos dos últimos responden al desarrollo del gran Arco Volcánico Cretácico) y el Complejo Mabujina. (Hatten et. al, 1989). Como ya se había mencionado antes en nuestra área de estudio es de vital importancia las formaciones vinculadas al Arco Volcánico Cretácico puesto que aquí aparecen importantes yacimientos.

Arco Volcánico Cretácico

Se corresponde con las rocas efusivas, piroclásticas y sedimentarias que se forman en las islas volcánicas y en los mares que la rodean. Este complejo por incluir estratos fosilíferos, rudistas o foraminíferos bentónicos, puede datarse por medios paleontológicos, hecho que ha permitido determinar la presencia de calizas del Albiano Superior, Santoniano y Campaniano en estas secuencias.

Complejo vulcano – sedimentario.

Está representado por rocas vulcanógeno – sedimentarias, cubierto discordantemente por rocas sedimentarias del sinorogénico, presenta en su parte inferior (fase explosiva) tobas de granulometría gruesa, con intercalaciones de calizas del intervalo Albiano – Turoniano, con un espesor de hasta 600 m., mientras que en la parte más alta tobas con granulometría fina de composición andesítica y en parte dacítica, en ocasiones con algunas intercalaciones de argilitas y areniscas polimícticas.

Una buena exposición en superficie de las rocas piroclásticas se encontró en la carretera de Ciego a Majagua, en una escarpa al borde de la carretera. Allí se pueden estudiar tobas litocristaloclásticas en parte estratificadas, de color pardo amarillento, muy alteradas.

En las localidades Biajaca Gorda y el Serrucho aparece una serie de pequeñas elevaciones donde afloran las "Calizas Serrucho" propuestas por Ch.W.Hatten, en 1958. Estas no constituyen cuerpos uniformes, sino más bien restos de un manto de sobrecorrimiento destruido. (Figura II.6. a y b). Las calizas según algunos geólogos, equivalen en parte a la Formación Provincial propuesta por Thiadens. Las rocas son ricas en fauna fósil de radiolarios y foraminíferos, que permiten datarla desde el Albiano Superior al Turoniano. En el pozo Jatibonico -78, entre los núcleos 13, 14, y 15,

se registró estas rocas y también hay referencias en el Echevarría No.1 donde I. Kantchev, describió en el intervalo Aptiano - Albiano, calizas micríticas algo recrystalizadas y otras rocas vulcanógenas que homologó con la Formación Provincial.



a



b

Figura II.6. Afloramiento de rocas de la Formación Serrucho. (a) En la imagen se aprecia la forma en que se presentan las elevaciones donde aparecen las calizas de la Fm. Serrucho. En la imagen (b) se aprecia un detalle de las calizas formadas en mares pelágicos durante el Cenomaniano. Localidad El Serrucho. Foto Rolando García.

Complejo Plutónico

En él es común la presencia de las lavas, sills y cuerpos subvolcánicos que se intercalan con tobas, tufitas y rocas sedimentarias. Se interpreta como propio de las cuencas axiales del archipiélago volcánico, ya que coinciden con la distribución de numerosos aparatos volcánicos y nudos vulcano – plutónicos. En el área se reconocen las siguientes unidades:

- Formación Mataguá (Wasall, 1953).

Corresponde a lavas, lavo- brechas, tobas de composición andesítica, andesítico – basáltica de diferentes granulometrías, donde subordinadamente se encuentran silicitas, tufitas y calizas.

- Formación Caobilla (Iturralde 1981).

Son rocas que componen una secuencia vulcanógena, donde predominan las variedades ácidas (dacitas, riodacitas y riolitas) en formas de bandas discontinuas y alargadas que se ubican al sur del área en estudio y se extienden desde la provincia de Ciego de Ávila hasta Las Tunas. Por lo general yacen discordantemente sobre las ultramafitas y se cubren por los sedimentos siliciclásticos y/o carbonatados del Cretácico tardío y Paleógeno.

En ocasiones en las secuencias del Arco Volcánico Cretácico yacen discordantes biohermos del Albiano – Turoniano y del Maastrichtiano -Formaciones Serrucho y Presa Jimaguayú.

II.2.4 Sedimentos Sinorogénicos.

(Cretácico Superior Campaniano - Maastrichtiano al Eoceno Inferior - Medio).

El orógeno cubano es el resultado de la colisión y acreción de tres unidades tectónicas de gran importancia; en primer lugar el Margen Continental de América del Norte que incluye los márgenes de Bahamas y Yucatan; en segundo lugar el Terreno Zaza, el cual forma parte de la Placa Caribe y abarca una porción del Arco de Islas del Cretácico caribeño y su corteza oceánica asociada y por último el Terreno Caribeana (Cruz Orosa, 2012). Las formaciones que surgieron en este período se distinguen por presentar secuencias olistostrómicas y flyschoides de rocas siliciclásticas y carbonatadas, depositadas en zonas de poca profundidad. Los sedimentos que conforman estas unidades provienen principalmente de la erosión del Arco de Islas del Cretácico y las Ofiolitas. Como resultado del desarrollo orogénico, estas formaciones contactan de forma discordante y se encuentran fuertemente deformadas, es frecuente la aparición de pliegues y fallas, estas últimas en ocasiones constituyen contactos tectónicos, (Iturralde-Vinent, 1995)

- **Formación Eloisa**

Estos sedimentos, comprendidos en el intervalo Cretácico Superior Campaniano Tardío – Eoceno Medio Temprano, forman varios ciclos de sedimentación genéticamente relacionados a la orogenia cubana, ellos están asociados a pliegues, discordancias, dislocaciones, brechamientos y distintos niveles de erosión. Los depósitos del intervalo Cretácico Superior Campaniano Tardío – Maastrichtiano son los de mayor distribución areal y volumen y corresponden a conglomerados de distinta composición (tobáceos, efusivos, polimícticos con elementos calcáreos, etc.) que se intercalan con areniscas, argilitas y arcillas.

La litología y la mezcla de fauna sugieren la presencia de turbiditas silicoclásticas. El paleoambiente correspondió al nerítico externo-batial superior.

El piso Maastrichtiano está representado por dos grupos de litologías. Al primero pertenecen sedimentos arcilloso-carbonatados bien representados en los pozos Catalina, Vega Grande, Cometa y Bijabo, que corresponden a un paleoambiente batial. Al segundo grupo pertenecen las calizas de los siguientes miembros de la Formación Eloisa:

-Miembro Catalina: Calizas de textura wakestone / packstone depositadas en ambiente nerítico medio correspondiente al Maastrichtiano Inferior.

-Miembro Cristales: Calizas de textura packstone / grainstone, depositadas en ambiente nerítico interno. Constituyen verdaderas coquinas. Los miembros carbonatados de la Formación Eloisa

constituyen buenos reservorios, con producciones de petróleo en los campos Catalina y Cristales. Los niveles arcillosos de la Formación Eloisa son potenciales sellos. Los contactos inferior y superior de la formación son discordantes, con las rocas efusivas del Terreno Zaza en el primer caso y con los sedimentos terrígenos del Paleógeno en el segundo.

- Formación Santa Clara.

Está compuesta por conglomerados tobáceos, calizas fosilíferas, argilitas y arcillas. Los foraminíferos planctónicos indican la edad Paleoceno Medio y Superior, con redeposición de formas cretácicas. El paleoambiente correspondió al batial superior. El contacto inferior es discordante erosivo con el Cretácico y el superior es concordante, transicional con el Eoceno.

- Formación Taguasco:

Un magnífico corte que ilustra la magnitud de la destrucción de tierras emergidas para la formación de secuencias clásticas, es el del llamado Olistostroma Taguasco, de edad Paleoceno Superior - Eoceno Inferior (parte baja) ubicado un kilómetro al oeste del poblado Arroyo Blanco. En esta secuencia caótica olistostrómica policomponente se observan conglomerados y brechas conglomerados con clastos y fragmentos de rocas ígneas, carbonatadas y arenosas, cementadas por areniscas y lutitas. (Figura II.7 a y b).

En algunas partes hay capas de areniscas y lutitas, areniscas bien estratificadas, polimícticas, limolitas y lutitas con aspecto de sedimentación flyschoides, ocasionalmente aparecen calizas y margas.



Figura II.7. Olistostroma policomponente Taguasco de edad Paleoceno Superior - Eoceno Inferior (Parte Baja). (a) véase la dimensión de los clastos y las intercalaciones arcillosas. (b) clastos donde se han encontrado fósiles datados. Foto Rolando García

Más arriba el corte se completa con los sedimentos terrígeno-arcillosos que comprenden los intervalos del Eoceno -Formación Loma Iguará y Formación Zaza,

- Formación Loma Iguará.

Aparece con brechas de caliza, calizas fragmentarias y calizas arcillosas, margas y areniscas donde predominan los foraminíferos planctónicos de las familias *Morozovelidos* y *Acarininidos*. El espesor es de 150 m. Ambiente batial superior. Yace sobre la Fm Taguasco del Paleoceno y transiciona con la Fm Zaza.

- Formación Zaza.

La formación Zaza (Thiaden. A, 1937) encuentra una amplia distribución dentro de la cuenca central. Caracterizada fundamentalmente por una alternancia flyschoides de arenisca, limolitas, calizas arenosas y margas. A diferentes niveles se observan intercalaciones de estratos o paquetes de brechas y brechas-conglomerados. En la parte inferior de la formación afloran en varios lugares paquetes finos de tobas. Esta unidad presenta una amplia asociación fosilífera compuesta por: *Acarinina bullbrooki*, *Amphistegina lopeztrigoi*, *Asterocyclina havanensis*, *Discocyclina marginata*, etc., que permiten datarla como Eoceno Inferior parte alta y Eoceno Medio parte baja. La misma tiene un espesor que oscila desde los 1000 a los 1500 metros. Está cubierta discordantemente de las formaciones Arroyo Blanco y Marroquí.

Ambas secuencias han sido atravesadas por la mayoría de los pozos perforados y en superficie se conoce solamente en el extremo occidental de la provincia Ciego de Ávila.

II.2.5 Sedimentos Pos-orogénicos.

Los sedimentos pos-orogénicos representan un corte carbonatado-terrígeno, muy difundido en el territorio, tanto el de la llamada la Cuenca Central, como en sus límites noroeste. Aquí se reconocen las siguientes unidades litoestratigráficas.

- Formación Arroyo Blanco.

La formación Arroyo Blanco (Bandt, 1958) aflora en los alrededores del pueblo de Arroyo Blanco y está compuesta por una secuencia terrígeno-carbonatada de conglomerados, brecha-conglomerados, areniscas, arcillas calcáreas y en ocasiones calizas biogénicas. Los conglomerados y brecha-conglomerados están compuestos por fragmentos de rocas metamórficas, cuarzo, calizas, pedernal y areniscas. Contiene fauna de foraminíferos planctónicos y bentónicos. El ambiente es de Talud Superior. La fauna bentónica de foraminíferos grandes sugiere una zona sublitoral, acarreada por fuertes corrientes hacia la zona nerítica externa y el talud. Los fósiles de esta unidad

son: *Globigerinatheka mexicana* Kugleri, *Lepidocyclina antillea*, *Lepidocyclina chaperi*, que indican una edad Eoceno Medio parte alta-Eoceno Superior y su espesor oscila entre 100 y 150 metros. Esta unidad está cubierta discordantemente por las formaciones Chambas, Tamarindo y Jatibonico, la misma transiciona lateralmente a la formación Marroquí (M. T. Kozary y P. Bronnimann, 1955).

- Formación Marroquí

(Kozary y Bronnimann, 1955) Biocalcarenitas, calizas y margas, conglomerados brechosos, contiene algunas areniscas de granos gruesos que en ocasiones pasan a conglomerados de granos finos que contiene calizas fosilíferas, fragmentarias de textura packstone y grainstone, porosas, que exhiben buena porosidad intergranular. Presenta buena fauna representada por macroforaminíferos, *Asterocyclinidae*, *Lepidocyclinidae*. El ambiente es de aguas poco agitadas en condiciones neríticas. Tiene un espesor que alcanza los 300 m. Está cubierta discordantemente por la Formación Tamarindo. Aflora alrededor del pueblo de Marroquí y Loma de Santa Clarita al Norte del pueblo de Tamarindo, Provincia de Ciego de Ávila. (Figura II.8).



Figura II.8. Afloramiento de calcarenitas de la Formación Marroquí en los alrededores del poblado de Tamarindo, provincia Ciego de Ávila. Foto Rolando García

- Formación Tamarindo.

(Hatten, 1958) Constituida por una alternancia de calizas, calcarenitas, margas y arcillas. Las calizas son de varios tipos, en algunas ocasiones ellas están recrystalizadas y algo dolomitizadas. Contienen fauna abundante de foraminíferos planctónicos y bentónicos de paleoambiente Nerítico. Tiene un espesor en superficie de 500 - 650 m. En los pozos del área se reportan espesores de 300 - 400 m. Aflora al noroeste y suroeste del poblado de Tamarindo. Por lo general yace sobre los

sedimentos de las Formaciones Arroyo Blanco, Marroquí y el Olistostroma Taguasco. Esta unidad transiciona lateralmente a las Formaciones Chambas y Jatibonico también del Oligoceno.

- Formación Chambas.

(Truitt, 1953). Son calizas organógenas, algo porosas, en capas gruesas, arcillosas que pasan a margas. Es característica en ellas la presencia de Moluscos y en menor cantidad *Lepydocylinidos*. También se encuentran calizas detríticas. (Figura II.9).



a



b

Figura II.9 Afloramiento de rocas de la Formación Chambas. (a) vista de la cantera donde explotan las calizas del Oligoceno de dicha formación. (b). Detalle de las calizas del Oligoceno.

- Formación Sancti Spiritus.

Areniscas polimícticas y arcillas con algunas calizas y conglomerados polimícticos, depositados en un ambiente nerítico extremo distal. Se reconoce en el pozo Sancti Spiritus-1 y en los pozos Bijabos.

- Formación Jatibonico.

Se desarrolla en el extremo occidental de la provincia de Sancti Spiritus (H. Wassal y P. Bronnimann en: P. Bronnimann 1955). Esta formación está compuesta principalmente por una secuencia terrígeno – carbonatada de margas, areniscas, conglomerados polimícticos y calizas coralinas.

Las margas constituyen el elemento litológico principal debido a que contiene abundantes fósiles como *Globigerina ampliapertura*; *Globigerina tripartita*, *Globorotalia opima*, etc.; los que la datan del Oligoceno Superior. El espesor de la misma alcanza hasta los 200 metros y está cubierta discordantemente por los depósitos miocénicos de las formaciones Lagunitas y Paso Real.

- Formación Güines

(Humboldt, 1826). Calizas biohérticas, calizas fosilíferas fragmentarias, intercaladas con ellas hay dolomitas; la dolomitización es secundaria y por lo general es masiva; hay lentes ocasionales de margas y calcarenitas. La fauna es representativa en Pelecípodos, Moluscos y foraminíferos bentónicos. El paleoambiente corresponde a nerítico interno periarrecifal. El espesor puede oscilar de decenas de metros hasta unos cientos de metros. Una gran cantidad de pozos perforados cortaron esta secuencia y no sobrepasan los 300 m.

II.3 CONSIDERACIONES SOBRE TECTÓNICA REGIONAL

Las concepciones tectónicas aplicadas en este trabajo parten de la consideración de que el archipiélago cubano es un orógeno del Terciario temprano compuesto por elementos de origen oceánico y continental (Iturralde-Vinent, 1996a). El elemento oceánico está representado por los arcos volcánicos y su corteza, mientras que el elemento continental lo conforman las rocas del continente norteamericano integradas por la cubierta sedimentaria del margen pasivo y su basamento. Se consideran dos arcos volcánicos: el Arco Volcánico del Cretácico, único presente en nuestra región de estudio, y el Arco Volcánico del Paleógeno.

Las rocas de la asociación vulcano-plutónicas del Arco Volcánico Cretácico, en la literatura geológica cubana, es común que estén descritas como parte de una unidad tectónica que incluye vulcanitas, plutonitas, ofiolitas y depósitos sedimentarios del Cretácico y Paleógeno (Hatten et al. 1958, Ducloz y Vuagnat. 1962).

En la actualidad existe consenso entre los geólogos cubanos para dividir la evolución geológica de Cuba en tres periodos relativos a la orogenia principal. Estos van a ser: Preorogénico (antes del Campaniano), Orogénico (del Campaniano al Eoceno Medio - Superior y pudiese alcanzar el Oligoceno en Cuba Oriental) y Postorogénico (López, J. G .1995).

La orogénia cubana fue un proceso de cabalgamientos regionales de gran magnitud que provocaron un considerable apilamiento de los estratos en la cuenca preorogénica del margen continental y por consiguiente su acortamiento. Esta comienza a manifestarse a finales del Cretácico Superior (Campaniano) y cesa bruscamente en el Eoceno. Coincide en el tiempo y en consecuencias con los procesos de formación de montañas e inversión de cuencas de México y el Norte de América del Sur (Tenreyro, R et al. 1997). Todo parece indicar que el orógeno cubano es el resultado de la colisión entre un arco volcánico desarrollado sobre una placa oceánica, probablemente de origen Pacífico y la sección continental de la placa Norteamericana. Resalta el hecho de que el comienzo de la orogenia coincide con la extinción de la actividad volcánica en el arco. En Cuba oriental el vulcanismo se extiende un poco más en el tiempo al surgir un nuevo arco

volcánico que se conoce en la literatura cubana como el arco volcánico del Paleógeno. (Iturralde-Vinent, 1996a).

En un momento posterior al Eoceno Inferior disminuye la intensidad de los esfuerzos horizontales característicos de la etapa de formación de montañas. Esto se debe, probablemente, al cambio del tipo de interacción entre ambas placas. Si durante la formación del arco y la orogenia la relación era de colisión frontal, en el periodo postorogénico en este sector comienza a desarrollarse una frontera entre placas del tipo de cizallamiento con un sistema transformante denominado sistema Caimán.

Luego, en el contexto del orógeno cubano, se asume que el estilo tectónico de la región de estudio está caracterizado por el desarrollo de mantos superpuestos con desarrollo de cuencas sinorogénicas del tipo *Piggyback*. Esta complicada estructura geológica es el resultado de la colisión del Arco Volcánico Cretácico y su corteza oceánica, provenientes del sur, con las rocas del margen continental norteamericano, por lo que en esta superposición encontramos mantos del arco volcánico y su cubierta sinorogénica y postorogénica, cubriendo las rocas plegadas y cabalgadas del margen continental (Figura. II. 10)

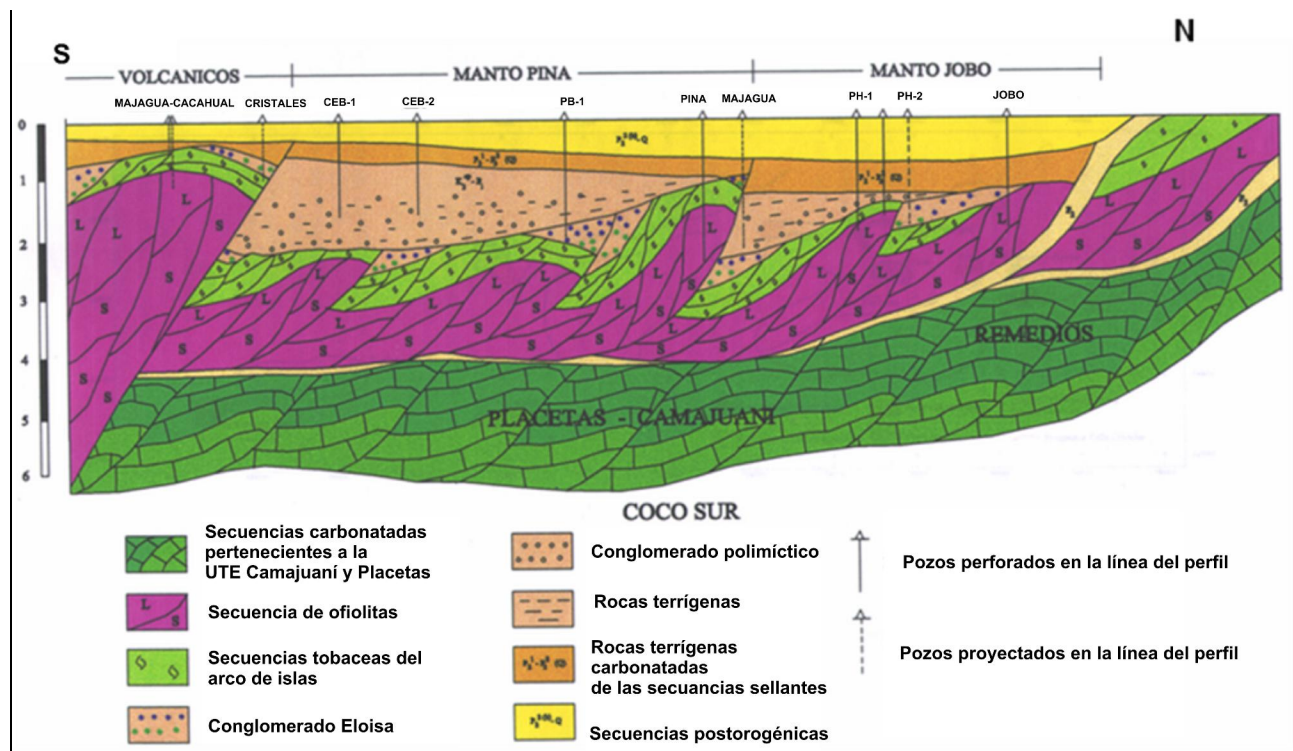


Figura II.10. Modelo geológico de Cuenca Central según R. Otero, J. Álvarez y R. Tenreyro. 1993. Se puede apreciar como para la parte superior del corte, donde se manifiestan rocas terciarias, el relleno de la cuenca se comporta subhorizontal, no así en las rocas de la Asociación Ofiolítica y del Margen Continental, las cuales están ampliamente deformadas y plegadas.

En la composición de los mantos pertenecientes al arco volcánico y su corteza oceánica predominan las rocas volcánicas y del complejo ofiolítico, mientras que en la composición de las pertenecientes al margen continental encontramos rocas sedimentarias, fundamentalmente carbonatadas de aguas profundas y someras de la plataforma carbonatada (zona remedios).

Como se expresó anteriormente, sobre los mantos cabalgados pertenecientes al Arco Volcánico Cretácico y las ofiolitas de su corteza oceánica, se formaron cuencas superpuestas rellenas por rocas sedimentarias y vulcanógeno-sedimentarias del Campaniano hasta Cuaternario. En el área de estudio el espesor de esta cubierta sedimentaria varía de 1,0 hasta 5,0 Km. Entre la citada cubierta y el basamento plegado, en algunos casos, aparece un complejo de rocas intermedio vulcanógeno-sedimentario (Coniaciano-Santoniano) con un espesor de hasta 1000 m., el cual, por el grado de dislocación es semejante a las rocas del basamento plegado, y por su composición a la cubierta sedimentaria, cabe destacar que la descripción que se hace de los pozos del área no presentan este tipo de rocas, al menos no quedan descritas en los informes.

II.4 MAGMATISMO

La literatura caribeña suele mencionar el gran Arco de Islas del Cretácico, para registrar de alguna manera la actividad magmática de la región, actualmente se dispone de datos que permiten diferenciar varios estadios en la evolución de dicho arco e incluso plantear la existencia de varios arcos independientes. Las secuencias magmáticas estudiadas en Cuba permiten afirmar la influencia de tres arcos; en primer lugar 1) el Arco de Islas Cretácico Inferior, el cual se manifiesta mediante la serie del Arco Boninítico y el Arco Volcánico Primitivo del Cretácico Inferior; 2) el Arco de Islas Cretácico Superior se evidencia mediante el Arco Volcánico Calco-alcalino y el Arco Volcánico Primitivo del Cretácico Superior.

El Arco Boninítico aflora principalmente en Cuba occidental en las formaciones Encrucijada y Margot, mientras que en Cuba central aflora en la Formación Zurrupandilla (Kerr et al., 1999). Estas están constituidas por diabasas, basaltos, lavas y lavo-brechas basálticas de composición toleítica. Aunque su substrato se desconoce, estudios geoquímicos sugieren que están relacionadas con cortezas oceánicas de supra-subducción. La región central de la isla de Cuba es la principal zona donde ha sido identificado el Arco de Islas Cretácico Primitivo del Cretácico Inferior (PIA). Según Díaz de Villalvilla et al., 1997 y Kerr et al., 1999, las rocas más representativas de dicho arco son las de edad pre-Aptiense de la Formación Los Pasos ubicada en la provincia de Villa Clara así como clastos de rocas plutónicas y volcánicas que se han identificado en la provincia de Camagüey. Estas rocas son esencialmente basaltos, traquibasaltos y dacitas que aparecen

intercaladas en secuencias piro-clásticas y sedimentarias. Sus equivalentes geoquímicas fueron identificadas en La Española y Puerto Rico, esto sugiere que probablemente formaron parte del mismo arco. Por otra parte las series predominantemente calco-alcalinas pertenecientes al Arco de Islas Cretácico Inferior afloran y han sido identificadas a lo largo de todo el territorio cubano, desde Bahía Honda en Cuba occidental hasta la Sierra Nipe-Baracoa y Purial en Cuba oriental. Esta serie consiste en una sucesión plutónica-volcánica que muestra una transición en su composición de toleítica a calco-alcalina, (Pindel et al., 2005, 2006).

Datos geoquímicos y paleontológicos indican que el Arco de Islas Cretácico Superior se desarrolló en el bloque de Cuba oriental, (Proenza et al., 2006 e Iturralde-Vinent et al., 2006). Este magmatismo ha quedado registrado en la formación Téneme que aflora al noreste del bloque 23 y se caracteriza por basaltos e hialoclastitas con intercalaciones de calizas y margas que contienen foraminíferos de edad Cretácico Superior Turoniense-Coniaciense Inferior (Cruz Orosa 2012).

Las series vulcano-plutónicas del Paleógeno son exclusivas de Cuba oriental. Estas afloran extensamente en la Sierra Maestra, por lo que no se tuvieron en cuenta dada la lejanía del área de estudio.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

Este capítulo tiene como objetivo dar a conocer los pasos que se desarrollaron de forma secuencial y que condujeron al logro de los resultados esperados. En todo momento se tuvo en cuenta la correspondencia del problema planteado, la información existente y las herramientas disponibles para la solución de las tareas que encierra la investigación. Se dividió en tres etapas fundamentales, (figura III.1) *revisión bibliográfica, procesamiento de datos sísmicos y geológicos, análisis y discusión de los resultados*, con el objetivo de esclarecer la profundidad a la que aparecen los principales horizontes lito-estratigráficos en el área de estudio.

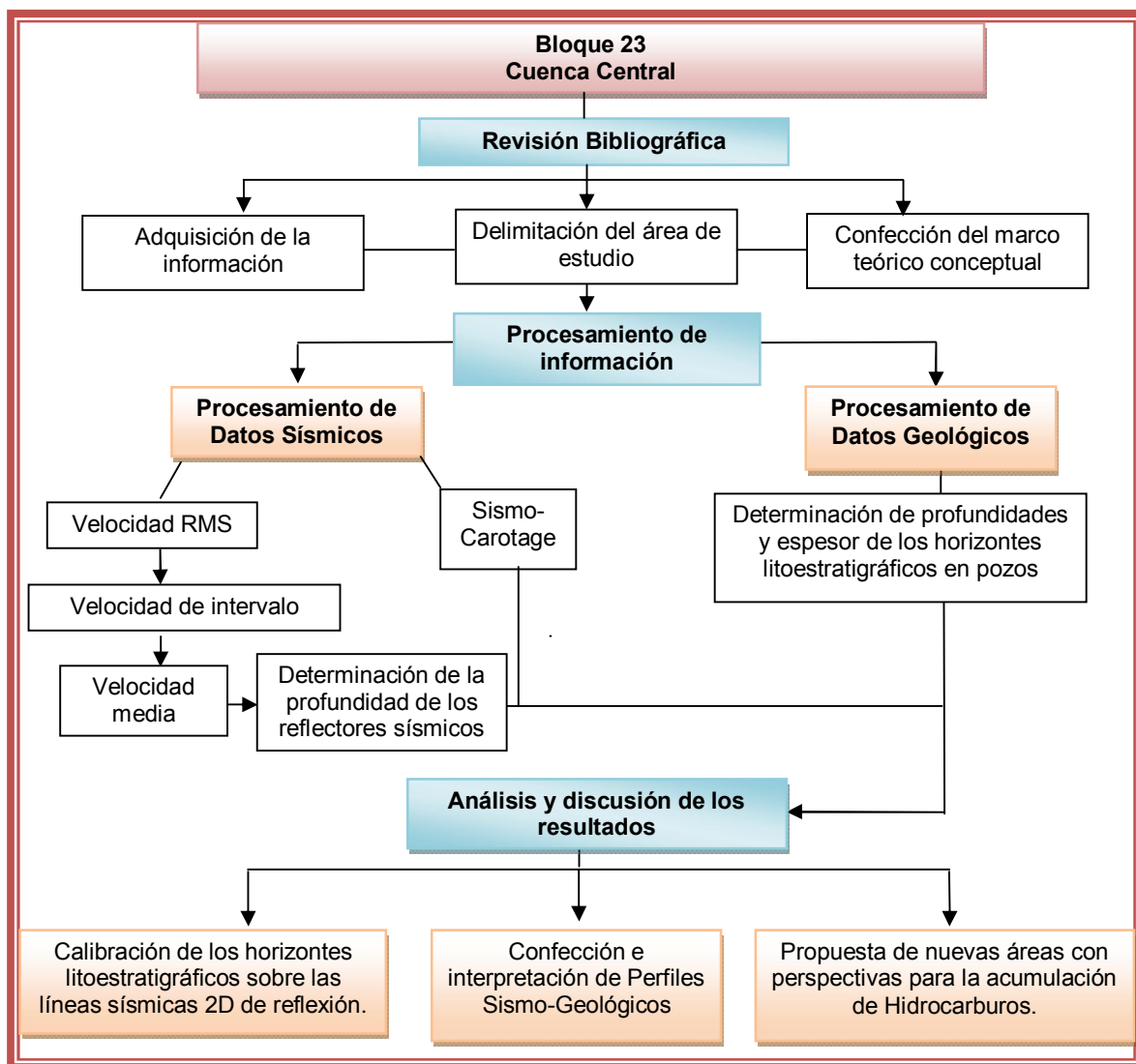


Figura III.1: Diagrama de flujo descriptivo. Muestra la metodología empleada durante la ejecución de la investigación.

3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

En este epígrafe los trabajos estuvieron encaminados en la recopilación de información metodológica y sobre la temática de la investigación; se consultaron un grupo de informes relacionados con la interpretación sísmica tanto en el ámbito nacional como internacional para poder delimitar el área de los trabajos y de alguna manera lograr la mejor comprensión de los objetivos trazados y de esta forma dar solución al problema planteado de acorde a las posibilidades reales de los datos con que se contó para esta investigación. En esta etapa se analizaron además conceptos básicos de la temática como:

- **Sismocarotage. (Registro integral):**

En el caso del registro integral el esquema del sistema sísmico de observación se compone de una sonda en la que se ubica un receptor sísmico de pozo (figura III.2) denominado (R) y una fuente de oscilaciones (F) que se encuentra en un pozo de poca profundidad en el punto B y a una distancia de la boca del pozo con el objetivo de evitar los efectos ruidosos que se pudieran producir por la transmisión de oscilaciones al receptor por el cable de la sonda.

El método consiste

entonces en ir generando oscilaciones e ir desplazando el receptor por el pozo y obtener un sismograma que contenga el tiempo de llegada (tobs) del primer evento (primera llegada) del frente de ondas a las diferentes posiciones (Zi) que ocupa el receptor R.

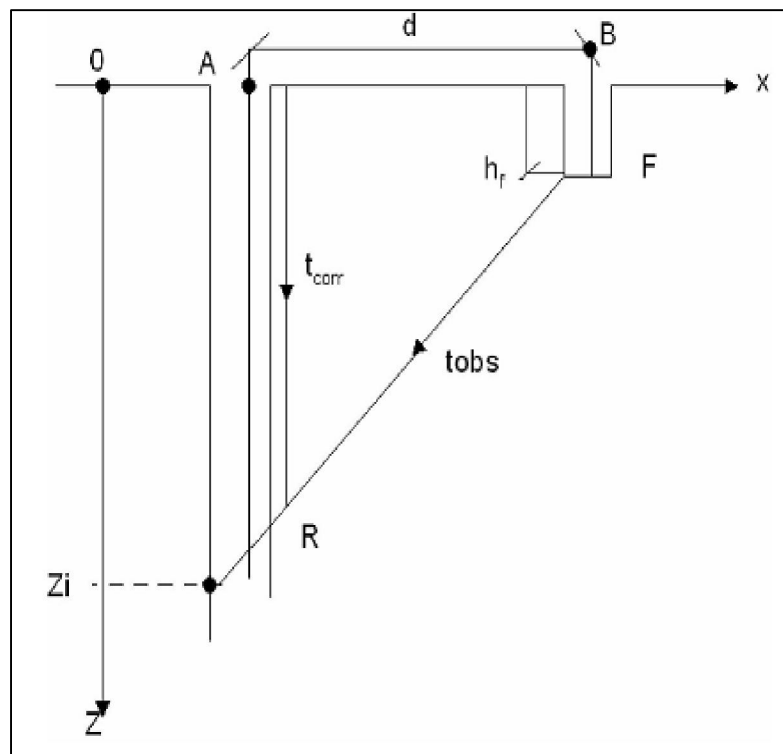


Figura III.2. Esquema que muestra cómo se toma la lectura de las velocidades por el Sismocarotage.

- **Sismograma sintético:**

El sismograma sintético es generado mediante la convolución de la reflectividad derivada de los registros acústicos y de densidad digitalizados, partiendo de la ondícula de los datos sísmicos. Mediante la comparación de las capas guía u otros puntos de correlación picados en los registros de pozos con las reflexiones principales de la sección sísmica, es posible mejorar las interpretaciones de los datos. El registro acústico se calibra generalmente con la información de los primeros arribos de un perfil sísmico vertical (VSP) o un levantamiento de tiros de pruebas de velocidad antes de combinarlo con el registro de densidad para producir la impedancia acústica.

- **Velocidad de intervalo:**

La velocidad, generalmente la velocidad de las ondas P, de una capa o varias capas de rocas. Se indica con el símbolo V_{int} y se calcula generalmente a partir de los registros acústicos o a partir del cambio de la velocidad de apilamiento, entre los eventos sísmicos en una sección de trazas de punto medio común

- **Velocidad Media:**

Velocidad Promedio (V_{prom}): Velocidad que se determina para modelos de medios con estratificación plano paralela, para el caso que el rayo de la onda sea perpendicular a la estratificación. Se define como la relación de la longitud del rayo perpendicular a la estratificación hasta una profundidad dada con relación al tiempo de desplazamiento del frente de ondas (primera llegada) a dicha profundidad. Esta velocidad se determina a partir del procesamiento de los registros de Sismocarotage integral.

Los modelos teóricos para la prospección sísmica, suponen que el paquete de rocas que sobreyace una frontera sísmica es homogéneo con una velocidad constante, lo cual nunca se cumple en la realidad, no obstante estos cálculos permiten en la mayoría de los casos obtener resultados aceptables.

- **Migración:**

Durante la adquisición, diversos factores como, estructuras complejas asociadas a cambios bruscos de velocidades y ciertas inclinaciones de los reflectores, provocan distorsiones (difracciones) en la imagen sísmica. Para convertir la imagen sísmica en interpretable, es necesario realizar la migración de los datos. La *Migración* es la etapa del procesamiento sísmico, en la cual son corregidas las distorsiones en el posicionamiento de los eventos registrados, eliminando las difracciones y re-posicionando los reflectores inclinados, para sus posiciones reales, aumentando la resolución espacial y proporcionando una imagen sísmica más detallada del subsuelo.

Como resultado de esta primera etapa se recopilaron además los mapas topográficos digitales a escala 1: 10 000, 1:25 000 y 1: 50 000, los que servirían de base para la ubicación del área en el marco regional y para la presentación final de los trabajos (representación de líneas sísmicas, pozos perforados y correlación litoestratigráfica).

3.2. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.

3.2.1 Procesamiento de datos sísmicos.

...”La velocidad de propagación de la onda de compresión en el subsuelo depende de la litología, de la porosidad, de los fluidos presentes, de la fracturación y de la profundidad”,...”se puede admitir que la velocidad aumenta con la profundidad en razón de la influencia preponderante de la presión por confinamiento. J. Christopher. (2004)

...”Los **registros sísmicos** permiten una medición **indirecta** de las velocidades del subsuelo gracias a la **curvatura de los indicadores de reflexión**” J. Christopher. (2004)

...”El geólogo necesita **conocer las velocidades en el subsuelo para transformar un corte en tiempo** (salido de la interpretación de un perfil sísmico por ejemplo) **en un corte en profundidad** o para **transformar una carta de isócronas en carta de isobatas**...” “No es posible **utilizar directamente las velocidades sísmicas** para este tipo de transformación” J. Christopher. (2004)

Al tener en consideración estas premisas, referidas al mismo proceso de selección de las velocidades donde incide un conjunto de elementos objetivos y subjetivos relacionados con las herramientas técnicas y físico-matemáticas así como con la pericia de los profesionales que han de dar respuesta al grado de complejidad del modelo geológico, se desprende que para obtener una mejor representación de las velocidades que caracterizan un medio geológico es necesario tomar toda información concerniente a la velocidad de propagación de las ondas elásticas durante los diferentes estadios del conocimiento, ya sea puntual (pozos) o en cortes sísmicos en tiempo (suma, migración postsuma o presuma) y profundidad (migración presuma o conversión).

Como se aprecia, esto es un arduo trabajo que debe acometerse antes de y durante el procesamiento, tanto para obtener datos más confiables como para supervisar (controles de calidad-QC) las diferentes etapas.

Para el presente estudio sólo se contó con los cortes en tiempo migrados antes de la suma (PSTM), en archivo no se encontró información sobre otros procesamientos (suma, postsuma) realizados por las compañías extranjeras,

En los cortes en tiempo migrados antes de la suma (PSTM) las velocidades referidas corresponden a la **velocidad media cuadrática** (RMS), ya que en el flujo de procesamiento se tomaron en cuenta la heterogeneidad del medio y los ángulos de yacencia de las capas.

El Bloque 23 cuenta con 32 líneas sísmicas de reflexión, dichos cortes en tiempo PSTM utilizados corresponden a: **24 líneas** procedentes del procesamiento llevado a cabo por el centro CGG Data Processing Services (Calgary) para CNW-Canadian Northwest Energy Limited; (Figura III.3). Líneas que fueron reprocesados a su vez por PGNIG ODDZIAL (Torun), para la misma compañía, con la finalidad de tener mayor confiabilidad en los datos adquiridos y las **8 líneas** restantes fueron procesadas por PGNIG ODDZIAL (Torun), para la compañía Sherritt international oil and gas Ltd.

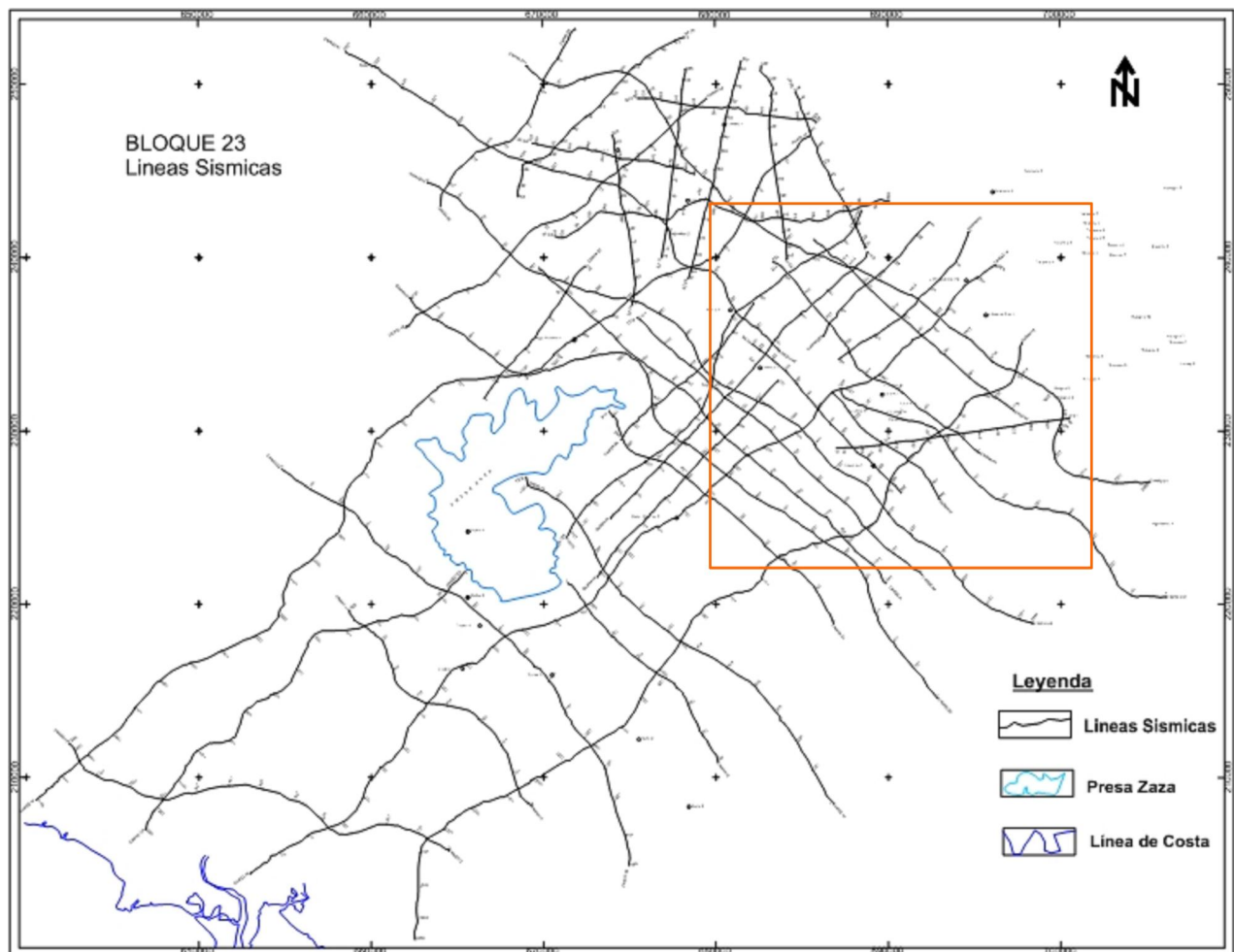


Figura III.3 Ubicación de líneas sísmicas, encerrado en naranja el área de estudio. Bloque 23

Durante la implementación, de la sísmica 2D- en tiempo, se tomó la decisión de realizar un estudio integrador de la **velocidad sísmica**, con vista a fortalecer esta herramienta fundamental en el

cálculo de la **profundidad de yacencia** de cualquier evento geológico en el subsuelo (calibración de pozos en el área y correlación con los horizontes sísmicos, confección de perfiles, etc.).

Esta estrategia, estuvo encaminada en: la recepción de datos de todos los CDP de los cortes sísmicos de área de estudio. Todo esto permitió conformar un banco de datos concerniente a las relaciones TWT vs V(rms) asumidas durante la selección de velocidades en los diferentes procesamientos. De las líneas mencionadas anteriormente para el área de estudio se emplearon 10 de ellas, las cuales se detallan en la tabla III.1

Tabla III.1. Líneas sísmicas empleadas en área de estudio. Bloque 23

Centro de procesamiento	Procesamiento	Cantidad de líneas	Cantidad de CDP(s)	Total de determ. T vs V(rms).
CGG Data Processing Services (Calgary)	PSTM	7	150	2270
PGNIG ODDZIAL (Torun),	PSTM	3	85	838
Total		10	235	3108

En total se recopilieron 3108 determinaciones, en su generalidad provenientes de cortes en tiempo migrados antes de la suma (PSTM). Toda esta información está recogida en ficheros Excel según el procesamiento, donde a cada corte sísmico en tiempo corresponde una hoja de cálculo, en la que se asienta el número del corte sísmico, el CDP y/o la estación (STN), la transcripción desde las líneas en formato papel de los valores de TWT vs V(rms). Los mismos fueron realizados con el programa ABBYY Screenshot Reader y así evitar errores manuales. Tabla III.2

Tabla III.2: Procesamiento de cortes sísmicos para cálculo de profundidades. Ejemplo línea 94-25.

L-94-25	CDP	TWT s	T(ída) s	V(rms) m/s	H m
	65	0.059	0.030	1427	42
	65	0.449	0.225	2041	458
	65	0.742	0.371	2295	851
	65	0.857	0.429	2355	1009
	65	1.098	0.549	2611	1433
	65	1.534	0.767	2843	2181
	65	1.749	0.875	2935	2567
	65	2.149	1.075	3073	3302
	65	5.013	2.507	3714	9309
	65	5.04	2.520	3724	9384

- **Tratamiento de las velocidades de procesamiento sísmico V (rms, int, media) para el cálculo de las profundidades.**

Una vez llevado a formato digital la información de cada CDP concerniente a las reflexiones de las líneas sísmicas se procede a la empleo de la V(rms) estimada durante el procesamiento sísmico. Dicha velocidad “aparente” es utilizada en el cálculo de la velocidad de intervalo V (int) muy útil durante el procesamiento y la velocidad media V(m), denominada velocidad geológica. La velocidad media es la que finalmente se usa para el cálculo de la profundidad (H) (Tabla III.3).

El cálculo de las velocidades de intervalo (Vint) se realizó a partir de la fórmula de Dix:

$$V_{k \rightarrow k+1}^2 = \frac{V_{rms_{k+1}}^2 t_{k+1} - V_{rms_k}^2 t_k}{t_{k+1} - t_k}$$

$V_{k \rightarrow k+1}$ Es la velocidad de intervalo entre t_k y t_{k+1} .

Una vez calculada la velocidad de intervalo, para el cálculo de la velocidad media se empleo la ecuación:

$$V_m(T) = \frac{\text{distancia específica}}{\text{tiempo totales}} = \frac{\sum_{n=0}^{n=N} V_{int(n)} t_n}{\sum_{n=0}^{n=N} t_n}$$

En ella se puede observar que la velocidad media relaciona las distancias totales con sus respectivos tiempos, y no se relaciona con sus interioridades, como es el caso de la velocidad de intervalo.

Una vez que se conoce la velocidad media, para conocer la profundidad a que se encuentran las reflexiones, resta multiplicar la velocidad media por su tiempo correspondiente:

$$H = \frac{V_m}{t(ida)}$$

Nota: el tiempo t se refiere al tiempo de ida de la onda.

Tabla III.3 Tratamiento de las velocidades para el cálculo de la profundidad de los reflectores sísmicos. CDP-2451 de la línea CNW 92-14, cercana al pozo Catalina-10.

CDP	T(ida)	Vrms	Vint	Vm	H m
2451	0.050	1792	1792	1792	90
2451	0.100	1859	1924	1858	186
2451	0.160	2055	2346	2041	327
2451	0.210	2150	2429	2133	448
2451	0.250	2195	2418	2179	545
2451	0.290	2285	2782	2262	656
2451	0.370	2363	2626	2341	866
2451	0.450	2430	2718	2408	1084
2451	0.560	2565	3056	2535	1420
2451	0.670	2721	3406	2678	1794

2451	0.730	2822	3770	2768	2021
2451	0.900	2957	3478	2902	2612
2451	0.860	3069	3758	2862	2461
2451	0.950	3187	4149	2984	2835
2451	1.100	3674	5887	3380	3718
2451	1.390	4206	5796	3884	5399
2451	1.860	4939	6650	4583	8524

Se realizaron además gráficos de dispersión T vs H, en programa Microsoft Office Excel. xlsx con vista a controlar la distribución de los datos, eliminar aquellos que puedan constituir errores y realizar valoraciones cualitativas en cuanto al grado de confiabilidad del dato (QC) ya sea por: configuración de la línea sísmica, complejidad geológica, puntos de muestreo, etc. (Figura III.5).

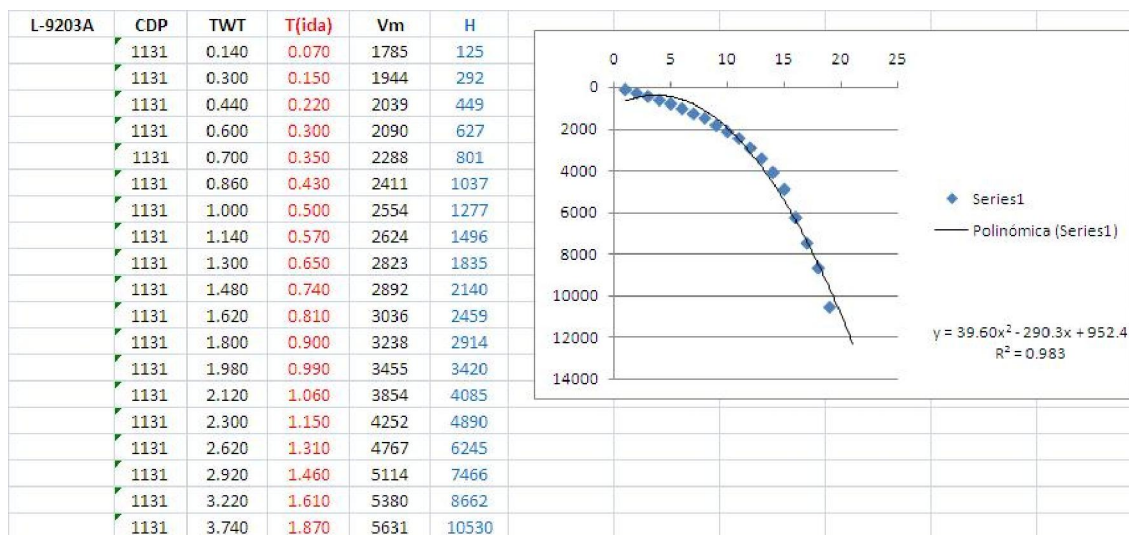


Figura III.5: Gráfico de dispersión T vs H, CDP-1131, Línea CNW 92-03A

- **Sismocarotage.**

A diferencia del tratamiento de las velocidades, que se usa con la finalidad de determinar la profundidad, en el sismocarotage se conocen los valores de las profundidades pues el estudio se lleva a cabo a lo largo del pozo. Dicho método consiste en estudiar cómo se comportan las velocidades de las ondas sísmicas de reflexión a determinadas profundidades conocidas. Puesto que en el sismocarotage se conocen las profundidades, este se empleó como una herramienta imprescindible para la calibración de los horizontes y en el caso de los pozos que no poseen sismocarotage se usaron las profundidades determinadas en los estudios de los CDP más cercanos.

3.2.2 Procesamiento de datos geológicos.

Cuenca Central cuenta con una vasta lista de estudios geológicos tanto de geología de superficie como del subsuelo, compañías tanto foráneas como cubanas se han empeñado en esclarecer la naturaleza geólogo-geofísica de dicha cuenca y enmarcar su grado de estudio de manera tal que tribute al acierto en la búsqueda de petróleo y gas. El bloque 23 se ha nutrido de varios de estos trabajos, así como campañas de perforación de pozos, perfiles, etc. Para este trabajo fueron utilizados los datos del informe Correlación estratigráfica de la Cuenca Central de Cuba del año 1994. Se emplearon específicamente: Perfil I-I', (pozos Catalina 4, 11, 14, 8) el mismo amarra con la línea sísmica CNW-92-03A y el perfil II-II' (pozos Catalina 6, 1, 2, 5) amarrando la información geológica con la línea sísmica CNW-94-25. Se decidió usar los datos de este informe por la existencia de estudios de sismocarotage en varios pozos y porque se comprobó un buen ajuste entre los datos de los topes y bases de sus pozos con las reflexiones reveladas por la sísmicas 2D (cortes en tiempo migrados antes de la suma PSTM).

- **Determinación de profundidades y espesor de horizontes lito-estratigráficos en pozos.**

Una vez que se tuvieron las descripciones de los pozos, y sus respectivas escalas, en este caso 1:5000, por la vertical, solo restó convertir de centímetros a metros a así poder establecer la profundidad y el espesor de los diferentes horizontes lito-estratigráficos.

3.3.1 Calibración de los horizontes lito-estratigráficos sobre las líneas sísmicas 2D de reflexión.

Primero: Esta etapa estuvo encaminada a la calibración de los horizontes sísmicos a partir de los sismocarotage y de los cambios lito-estratigráficos. El software que se empleó para la confección de las curvas fue Golden Software Grapher versión 8.0. Para ello se contó con una serie de datos que se enuncian a continuación: profundidad (H) en metros, tiempo (t) en segundos de los pozos del área que presentaron estudios de sismocarotage (Catalina-5, 14 y Jatibonico-78), en los casos en los que prescindían de sismocarotage como ya se había comentado antes se recurrió a emplear los valores de profundidad final H (metros) vs t (segundos), previamente calculados de los CDP más cercanos a los pozos de interés. Como es el caso del CDP-395, para el pozo Catalina-6, CDP-365, para Catalina-1 y el CDP-335 para el pozo Catalina-2. Todos estos referidos a la adquisición sísmica 94-25 realizada por Sherritt año 1994. Para el caso de pozo Catalina-10 se empleó el CDP-2451 de la adquisición sísmica CNW 92-14, realizada por la compañía canadiense CNW-Canadian Northwest Energy Limited (Campaña de 1992). (Tabla III.4)

Tabla III.4 Pozos estudiados con sus respectivos CDP más cercanos

Línea Sísmica 94 - 25			Línea Sísmica 92-14
Catalina 6	Catalina 1	Catalina 2	Catalina 10
CDP 395	CDP 365	CDP 335	CDP 2451

Segundo: Una vez obtenidos los gráficos se procedió a plotear sobre las *líneas de tendencia*, por medio de la opción Graph/ digitizing/ digitizefixed (Grapher versión 8.0), los valores de las profundidades a que aparecen los principales horizontes lito-estratigráficos descritos en los pozos perforados en el área, con vista a obtener los tiempos del registro. Terminado este se obtuvo un reporte con los tiempos de registro a los cuales corresponden estas profundidades en los cortes de pozos (figura III.4), tiempos que fueron usados en las líneas sísmicas para correlacionar e interpretar los principales horizontes lito-estratigráficos (calibración).

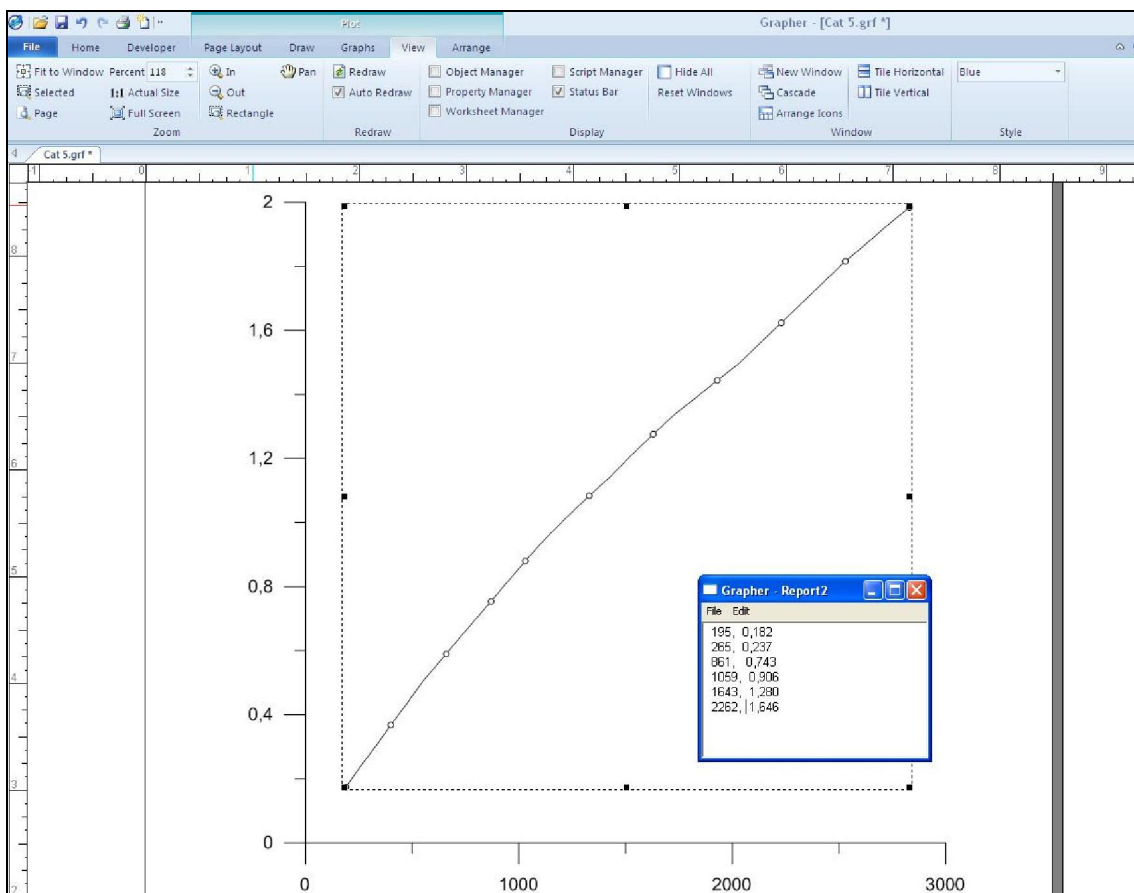


Figura III.4 Método de digitalización para convertir de tiempo a profundidad.

Para lograr la mejor calibración de los horizontes se referenciaron los datos sísmicos y los datos de pozos, es decir, se llevaron un mismo nivel de referencia:

- A la adquisición sísmica 2D (94-25 y CNW92-14) se le restó 120 m o 0.96 segundos, como se explica en la descripción del procesamiento realizado por Torun, así la suma final partió del nivel 0.00 o nivel medio del mar (nmm).
- Para el caso de los pozos, se les resto la cota sobre el nivel medio del mar y de esta manera también establecer las mediciones a partir del nivel 0.00.

3.3.2 Confección e interpretación de Perfiles Sismo-Geológicos.

Una vez terminada la calibración para confeccionar los perfiles sismo-geológicos solo restó ubicar sobre los cortes, los tiempos correspondientes a los cambios lito-estratigráficos reflejados en los pozos y correlacionar seguidamente las reflexiones sísmicas. Esto permitió determinar:

- Base de las secuencias del Terciario-tope del Cretácico para toda el área en estudio.
- En algunos perfiles, con una distribución muy restringida, la base del Cretácico Superior Maastrichtiano- tope del Cretácico Campaniano-Maastrichtiano.
- Base del Cretácico Campaniano Maastrichtiano-tope del Arco Volcánico del Cretácico.

3.3.3 Propuesta de nuevas áreas con perspectivas para la acumulación de Hidrocarburos en las secuencias comprendidas entre el Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano y las Tobas.

Para dar respuesta a este epígrafe, se integró el conocimiento adquirido de los diferentes horizontes calibrados en los perfiles sismo-geológicos, además de auxiliarse de estudios previos como el de Milán, E: Formaciones gasopetrolíferas del Mesozoico y Cenozoico situados en la Cuenca Central de Cuba y su relación con la evaluación de las perspectivas gasopetrolíferas, el mapa confeccionado por Martínez, E. (2008), entre otros, siempre puesta la atención entre el tope y base del Cretácico, corte donde se encuentran los principales reservorios gasopetrolíferos.

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

4.1 CALIBRACIÓN DE LOS HORIZONTES LITO-ESTRATIGRÁFICOS

Para la calibración de los horizontes lito-estratigráficos se procedió a amarar los datos del sismocarotage con los pozos más cercanos a las mismas y en caso de no existir pozos con registro de sismocarotage se procedió a utilizar la información de las líneas sísmicas (CDP) más cercanas a estos pozos.

- **Perfiles sísmicos, Perfil I-I'.**

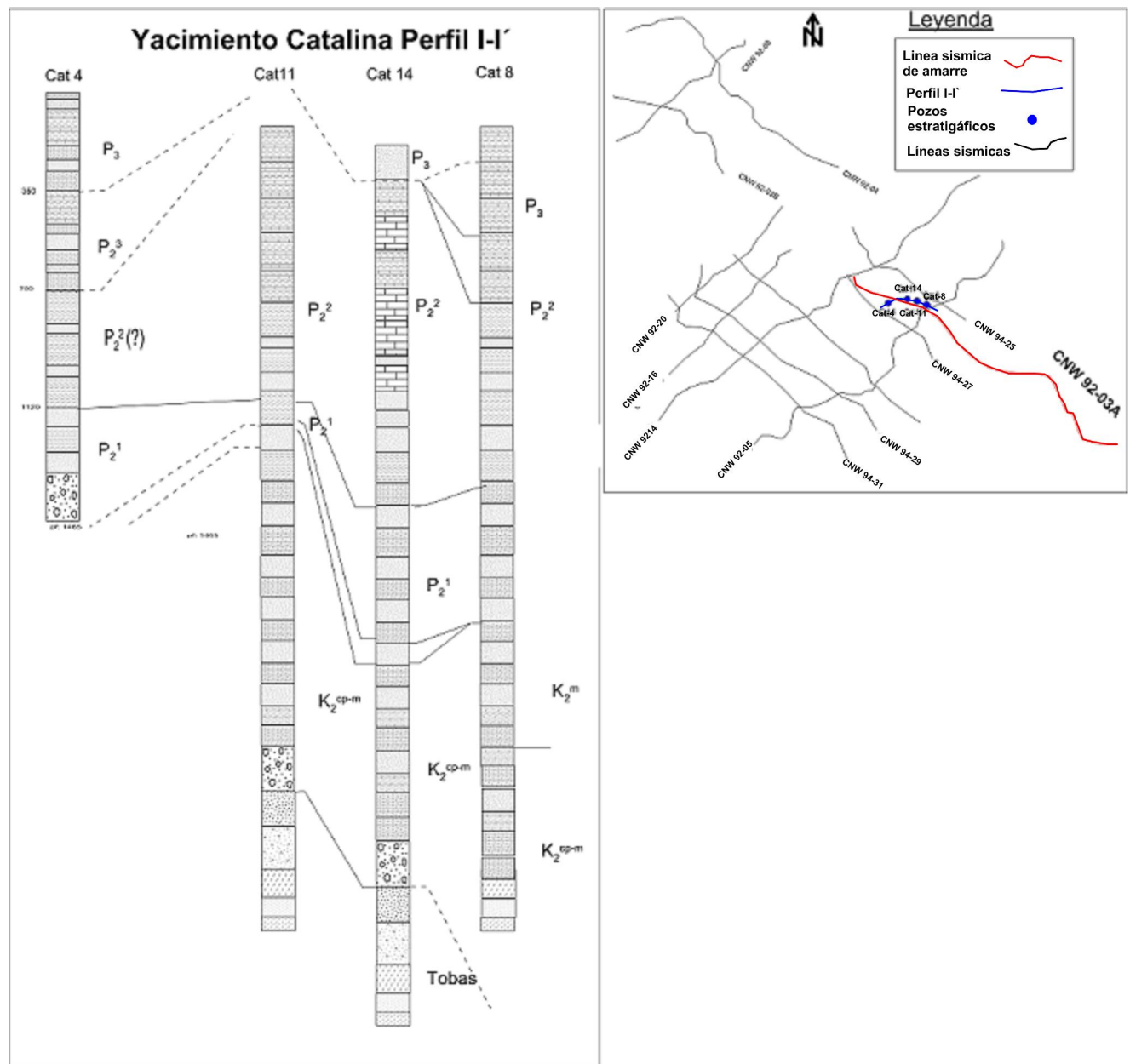


Figura IV.1 Correlación litoestratigráfica perfil I-I' y ubicación respecto a la línea 92-03A. Tomado de Perera, (1994) y modificado por el autor.

Como se puede observar en la figura IV.1 los pozos están cercanos a la línea sísmica, esto favoreció el trabajo a la hora de la calibración, excepto para el pozo Catalina-11, el cual está más distante y por ello se decidió no proyectar sobre la línea puesto que sus valores de profundidad una vez convertidos a tiempo no se ajustaron a las reflexiones correlacionables con los respectivos horizontes. En los demás pozos si se pudo establecer la calibración, ver figura IV.4 Este perfil fue uno de los más complicados a la hora del amarre pues como se observa en la correlación geológica, existen escalones lito-estratigráficos muy marcados entre un pozo y otro pese a la cercanía que existe entre los mismos, situación que no se ve reflejada en la sísmica por lo menos en los primeros horizontes (hasta la base del Terciario), esto pudiera constituir un punto de revisión de la información de pozos. Por lo abordado anteriormente, durante la interpretación sísmica se tuvieron que hacer varias correcciones para mejorar el amarre entre el tope y la base de los horizontes lito-estratigráficos, además se calibró el corte no solo con estos pozos, sino también con los pozos de las demás líneas que amarran con esta, como es el caso de la 92-14.

A continuación se exponen los tiempos y profundidades correspondientes a los topes y bases de los diferente paquetes lito-estratigráficos, obtenidos tanto a partir del sismocarotage como del estudio de las velocidades en los CDP más cercanos a los pozos que no cuentan con este. En el Perfil I-I', los valores que se exponen en rojo son los resultados de la calibración a partir de la relación de profundidad-tiempo. Tabla IV.1

Tabla IV.1 Calibración de los limites lito-estratigráficos a partir de los estudios de velocidades. Tiempo de ocurrencia. Perfil I-I'.

CDP 1085, L92-03A		Catalina-4			Sismocarotage		Catalina-14			CDP 1005, L92-03A		Catalina- 8		
Twt (ms)	H (m)	H (m)	Desc. Lit	T (ms)	Twt (ms)	H (m)	H (m)	Desc. Lit	T (ms)	Twt (ms)	H (m)	H (m)	Desc. Lit	T (ms)
		392	P ₃	0.154				P ₃					N-Q	0.141
0.07	126				0.08	136	323		0.163	0.07	125	265		
0.14	271	706	P ₂ ³	0.320	0.14	255	879	P ₂ ³	0.384	0.18	350	555	P ₃	0.265
0.24	504	1069	P ₂ ²	0.456	0.18	348	1435	P ₂ ²	0.576	0.33	727	700	P ₂ ³	0.298
0.32	723	1488	P ₂ ¹	0.613	0.23	461	1901	P ₂ ¹	0.725	0.43	993	1368	P ₂ ²	0.532
0.37	859				0.31	673	1971	K ₂ ^{cp-m}	0.745	0.52	1233	1820	P ₂ ¹	0.662
0.43	1010				0.37	823	2725	Tobas	0.973	0.63	1594	2215	K ₂ ^m	0.760
0.48	1145				0.43	983				0.75	2051	2933	K ₂ ^{cp-m}	0.936
0.52	1276				0.49	1140				0.82	2408			
0.57	1407				0.53	1240				1.03	2926			
0.63	1559				0.57	1341				1.15	3359			
0.7	1849				0.64	1639				1.40	4238			
0.76	2065				0.73	1878								
0.82	2330				0.79	2083								
0.88	2557				0.84	2365								
0.95	2932				0.90	2719								
1.02	3429				1.00	3116								
1.18	4176				1.06	3556								
1.34	5301				1.17	4228								

Como se observa en la tabla IV.1 las celdas que están coloreadas igual corresponden a los mismos horizontes lito-estratigráficos, según la descripción de los topes y bases identificados por los estudios de la descripción de pozos. Pero como se había dicho antes, la sísmica no mostró el mismo ajuste, basta con observar los valores en tiempo que se reflejan dentro de las celdas con igual coloración para notar el desfasaje de un pozo a otro de los respectivos topes y bases para cada horizonte, en tiempo revelados por la sísmica el que mejor se acerca a los valores en profundidad descritos por el estudio de los pozos (geológico) es el pozo el Catalina-14. Era de esperarse, puesto que este pozo presenta estudios de sismocarotage, correspondiéndose en todo momento los valores de profundidad según los datos en los pozos con los resultados obtenidos de la interpretación sísmica (profundidad-tiempo). Por esta razón se decidió tomar el reflector sísmico que le corresponde en tiempo según el pozo Catalina-14 para la calibración de los horizontes de este perfil.

Solo un pozo cortó tobas, Catalina-14. (Ver tabla IV.1 y figura IV.4) pero pese a su poca representatividad, una vez que se hicieron los ajustes en la calibración de los horizontes sobreyacentes, los tiempos en que se registró por pozos se corresponde con la reflexiones reveladas, por lo que se asume corresponde al contacto entre la base del Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano y el tope de las tobas. Este horizonte con mayor o menor grado de confiabilidad, se asume pudiera sigue en todo el perfil.

- **Perfiles sísmicos, Perfil II-II'.**

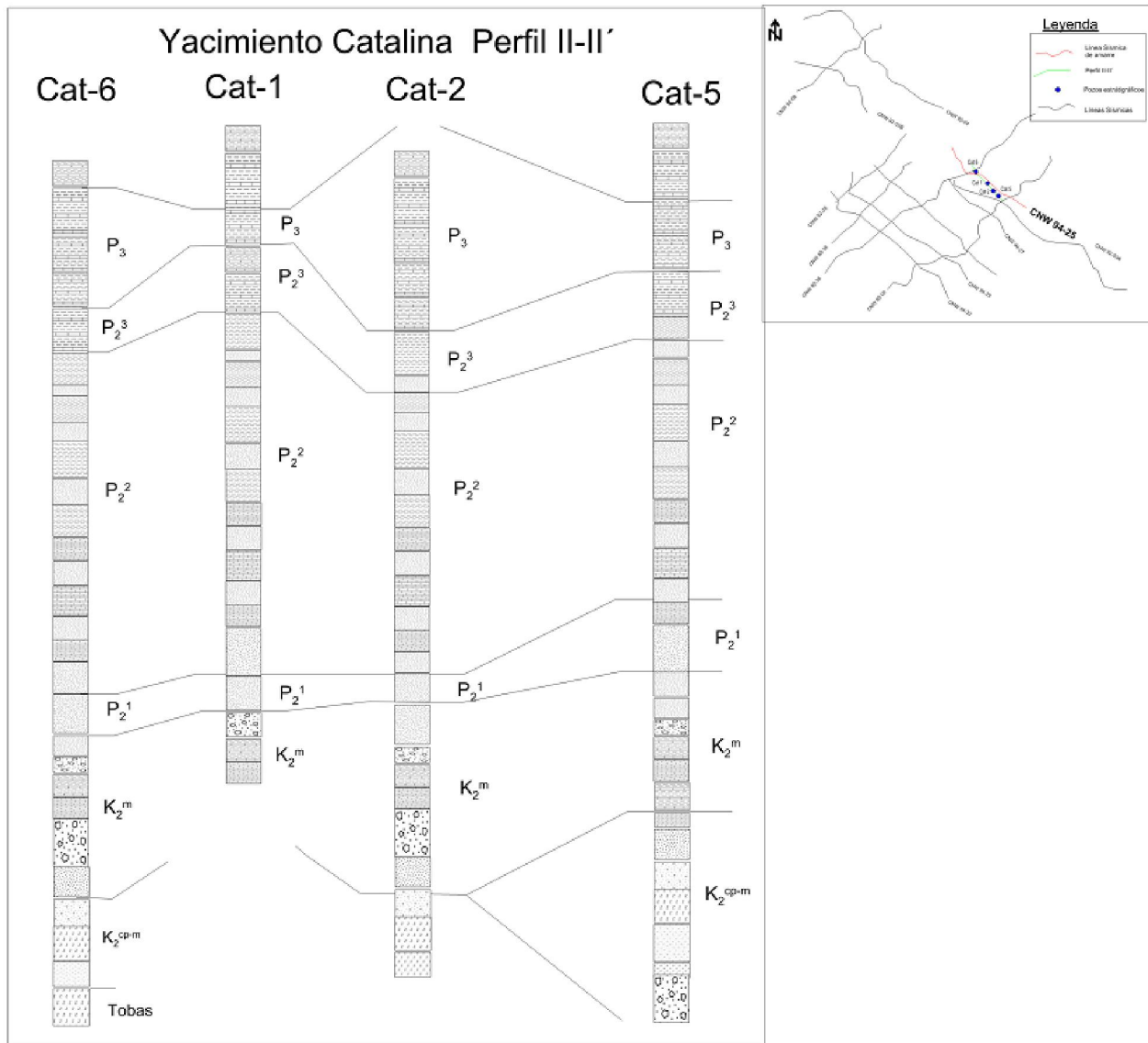


Figura IV.2 Correlación litoestratigráfica perfil II-II' y ubicación respecto a la línea 94-25. Tomado de Perera, (1994) y modificado por el autor.

En la figura IV.2 se aprecia que los pozos se proyectaron cercanos a la línea sísmica, en este caso se pudiera decir que los valores de profundidad que reflejan los horizontes de los cuatro pozos según los datos geológicos se ajustaron mejor que los del perfil anterior con los valores del procesamiento sísmico (tiempo-profundidad), aun así fue necesario hacer varias correcciones, pues a la hora de la correlación el pozo Catalina-1 se queda un poco mas levantado que los otros tres, pero esto se pudo corregir a la hora de la calibración de la línea y como el caso anterior para mayor certeza se hicieron los amarres con los pozos de líneas que amarran con esta, (Línea 92-14).

A continuación se exponen los datos de la presente interpretación sismo-geológica, proyectados para la calibración del Perfil II-II'. Los valores que se exponen en rojo son los resultados de la calibración. Tabla IV.2

Tabla IV.2 Calibración de los límites lito-estratigráficos a partir de los estudios de velocidades.
Tiempo de ocurrencia. Perfil II-II'.

CDP 395, L94-25		Catalina-6			CDP 365, L94-25		Catalina-1			CDP 335, L94-25		Catalina- 2			Sismocarotage	Catalina - 5				
Twt (ms)	H (m)	H (m)	Desc. Lit	T (ms)	Twt (ms)	H (m)	H (m)	Desc. Lit	T (ms)	Twt (ms)	H (m)	H (m)	Desc. Lit	T (ms)	Twt (ms)	H (m)	H (m)	Desc. Lit	T (ms)	
0.081	52	575	P ₃	0.581	0.042	36	380	P ₃	0.328	0.039	34	650	P ₃	0.620	0.700	190	250	P ₃	0.420	
0.147	128	725	P ₂ ³	0.659	0.617	664	600	P ₂ ³	0.543	0.664	725	850	P ₂ ³	0.718	0.754	260	460	P ₂ ³	0.620	
0.477	518	1800	P ₂ ²	1.343	0.901	1059	1730	P ₂ ²	1.305	1.504	2115	1750	P ₂ ²	1.304	0.810	330	1485	P ₂ ²	1.017	
0.588	652	1925	P ₂ ¹	1.402	1.048	1279	1855	P ₂ ¹	1.363	1.834	2743	1820	P ₂ ¹	1.333	0.840	400	1715	P ₂ ¹	1.330	
0.637	718	2430	K ₂ ^m	2.027	1.518	2090	2110	K ₂ ^{cp-m}	1.500	2.246	3476	2420	K ₂ ^m	1.656	0.880	470	2160	K ₂ ^m	1.570	
0.713	818	2630	K ₂ ^{cp-m}	2.015	1.771	2586				5.039	9045	2697	K ₂ ^{cp-m}	1.773	0.954	550	2841	K ₂ ^{cp-m}	1.99	
1.371	1853	2807	Tobas	2.164	2.599	4105									1.020	660				
1.771	2743				5.042	9048									1.084	730				
															1.144	800				
															1.212	870				
															1.276	940				
															1.338	980				
															1.390	1030				

Como en el caso anterior se puede apreciar que solo un pozo registró tobas a la profundidad de los 2807 m (Catalina-6) (ver tabla IV.2), por esta razón una vez más se pudo delimitar con mayor o menor grado de confiabilidad el tope de las tobas-base del Cretácico Superior

Campanaino- Maastrichtiano y más difícil aún si se tiene en cuenta que para este contacto las reflexiones se hacen más caóticas y difíciles de darle seguimiento en su continuidad lateral en el corte (ver figura IV.5). La totalidad de los pozos describen horizontes de rocas con edades hasta Cretácico Superior Campanaino-Maastrichtiano. El pozo Catalina-5 presenta estudios de sismocarotage, por lo que se empleó como herramienta de decisión a la hora de calibrar los horizontes del Perfil II-II', siendo este además el que mejor se ajusta una vez hecho el estudio de velocidad sísmica (tiempo-profundidad). En los demás pozos, (tabla IV.2) se observa que los tiempos que reflejan los cambios lito-estratigráficos según la descripción geológica en varios casos no se corresponden a los tiempos de la sísmica para las principales reflexiones.

- **Perfiles sísmicos, Perfil III-III'.**

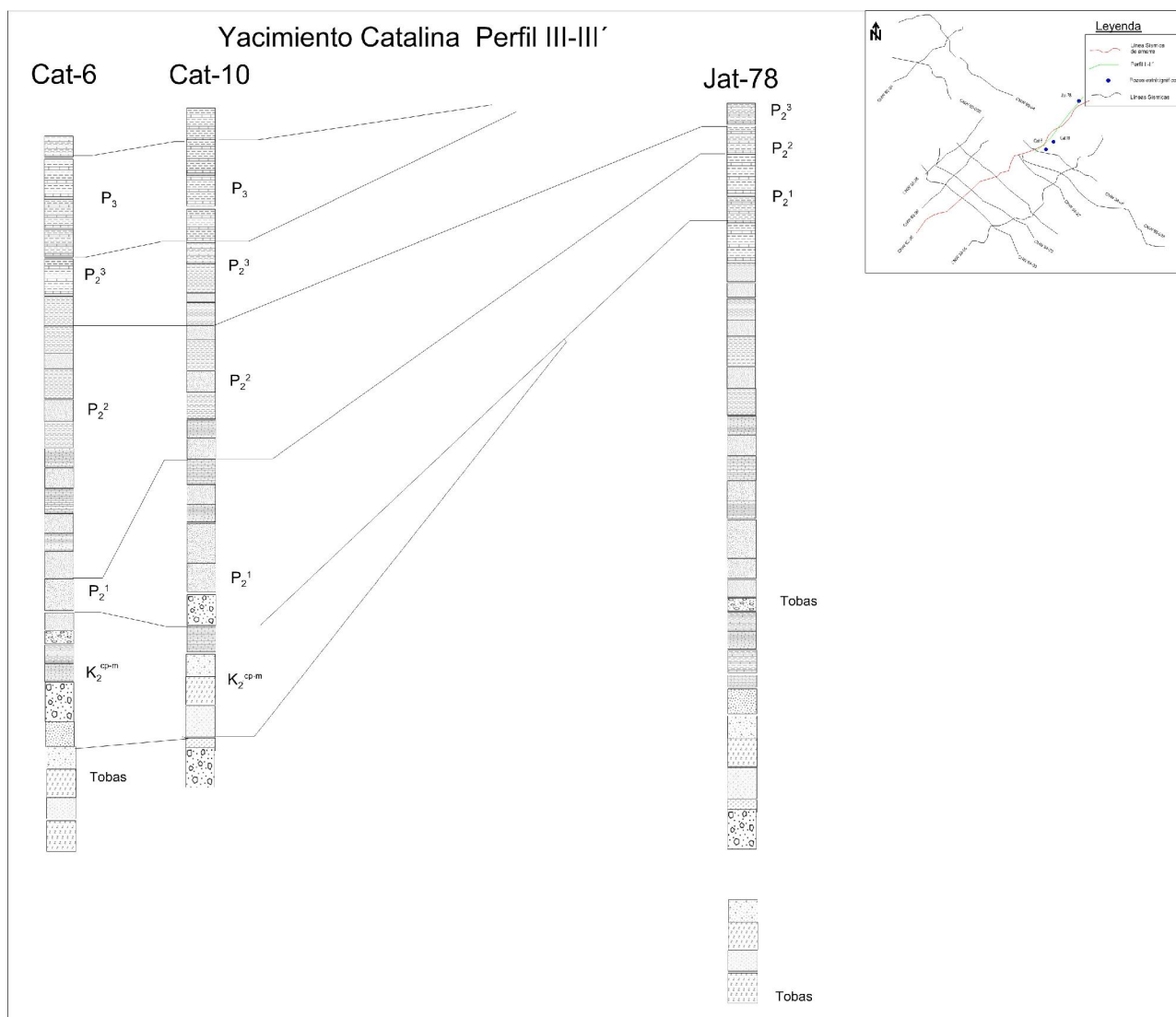


Figura IV.3 Correlación litoestratigráfica perfil III-III' y ubicación respecto a la línea 92-14. Confeccionado por el autor.

Este perfil (figura IV.3) a diferencia de los anteriores fue confeccionado por el autor, ya que esta línea 92-03A no cuenta con un perfil de correlación lito-estratigráfico en el informe de Perera. Por la distancia que existe entre los pozos Catalina-6 y Catalina-10 con el pozo Jatibonico-78, se dificulta la correlación, además de que este último prácticamente difiere con los anteriores en espesores y constitución litoestratigráfica, por constituir un apilado de pliegues escamas del Arco Volcánico Cretácico. Para este perfil lito-estratigráfico, el comportamiento de las profundidades (espesores) entre un pozo a otro no se corresponden, (Figura IV.3 y Tabla IV.3) algunos paquetes presentan gran potencia y otros yacen a diferentes profundidades, lo que no se aviene con los resultados de los cortes sísmicos donde las reflexiones presentan una yacencia horizontal o cuasi-horizontal en un cuadro de ondas bien marcado (figura IV.6), por lo que se hicieron en el presente trabajo varias correcciones teniendo en cuenta cual de los pozos es el que mejor ajusta según los datos de las profundidades de los límites geológicos y los del procedimiento tiempo-profundidad.

Tabla IV.3 Calibración de los límites lito-estratigráficos a partir de los estudios de velocidades. Tiempo de ocurrencia. Perfil III-III'.

CDP 395, L94-25		Catalina-6			CDP 2451, L92-14		Catalina-10			Sismocarotage		Jatibonico-78		
Twt (ms)	H (m)	H (m)	Desc. Lit	T (ms)	Twt (ms)	H (m)	H (m)	Desc. Lit	T (ms)	Twt (ms)	H (m)	H (m)	Desc. Lit	T (ms)
0.081	52	575	P ₃	0.581	0.100	90	554	P ₃	0.496	0.012	10.8		P ₃	
0.147	128	725	P ₂ ³	0.659	0.200	186	722	P ₂ ³	0.626	0.520	547	175	P ₂ ³	0.313
0.477	518	1800	P ₂ ²	1.343	0.320	329	1204	P ₂ ²	0.962	0.760	800	300	P ₂ ²	0.449
0.588	652	1925	P ₂ ¹	1.402	0.420	452	2130	P ₂ ¹	1.494	1.020	1152	500	P ₂ ¹	0.748
0.637	718	2430	K ₂ ^m	2.027	0.500	549	2616	K ₂ ^{cp-m}	1.760	1.450	1971	1200	K ₂ ^{cp-m}	1.300
0.713	818	2630	K ₂ ^{cp-m}	2.015	0.580	663				2.430	6302	4000	tobas	2.603
1.371	1853	2807	Tobas	2.164	0.740	874								
1.771	2743				0.900	1094								
					1.120	1436								
					1.340	1823								
					1.460	2060								
					1.800	2661								
					1.720	2639								
					1.900	3028								
					2.200	4041								
					2.780	5846								

Para el caso en cuestión se contó con el pozo Jatibonico-78, este presenta estudios de sismocarotage, y es el que mejor amarra, pero como se encuentra muy distante de los otros dos y además en un área levantada, por lo que para un mejor ajuste de los límites lito-estratigráficos en el perfil se tuvo que recurrir al amarre con las líneas 94-25 y 92-03A. De los tres pozos dos cortaron tobas, Catalina-6 y Jatibonico-78, por lo que en este perfil se pudo emplear como herramienta para establecer al menos con mayor certeza el tope de las mismas. (Ver tabla IV.3 y figura IV.6).

4.2 CONFECCIÓN E INTERPRETACIÓN DE PERFILES SISMO-GEOLÓGICOS.

Una vez terminada la etapa anterior se pudo proceder a la confección de los perfiles sismo-geológicos. Estos son el resultado de la integración de una serie de datos tanto sísmicos, como geológicos y con ellos se pretende representar la configuración geológica del subsuelo a partir de los datos sísmicos. Partiendo del establecimiento y seguimiento de topes y bases de los diferentes límites lito-estratigráficos con repercusión en las capacidades gasopetrolíferas del área de estudio.

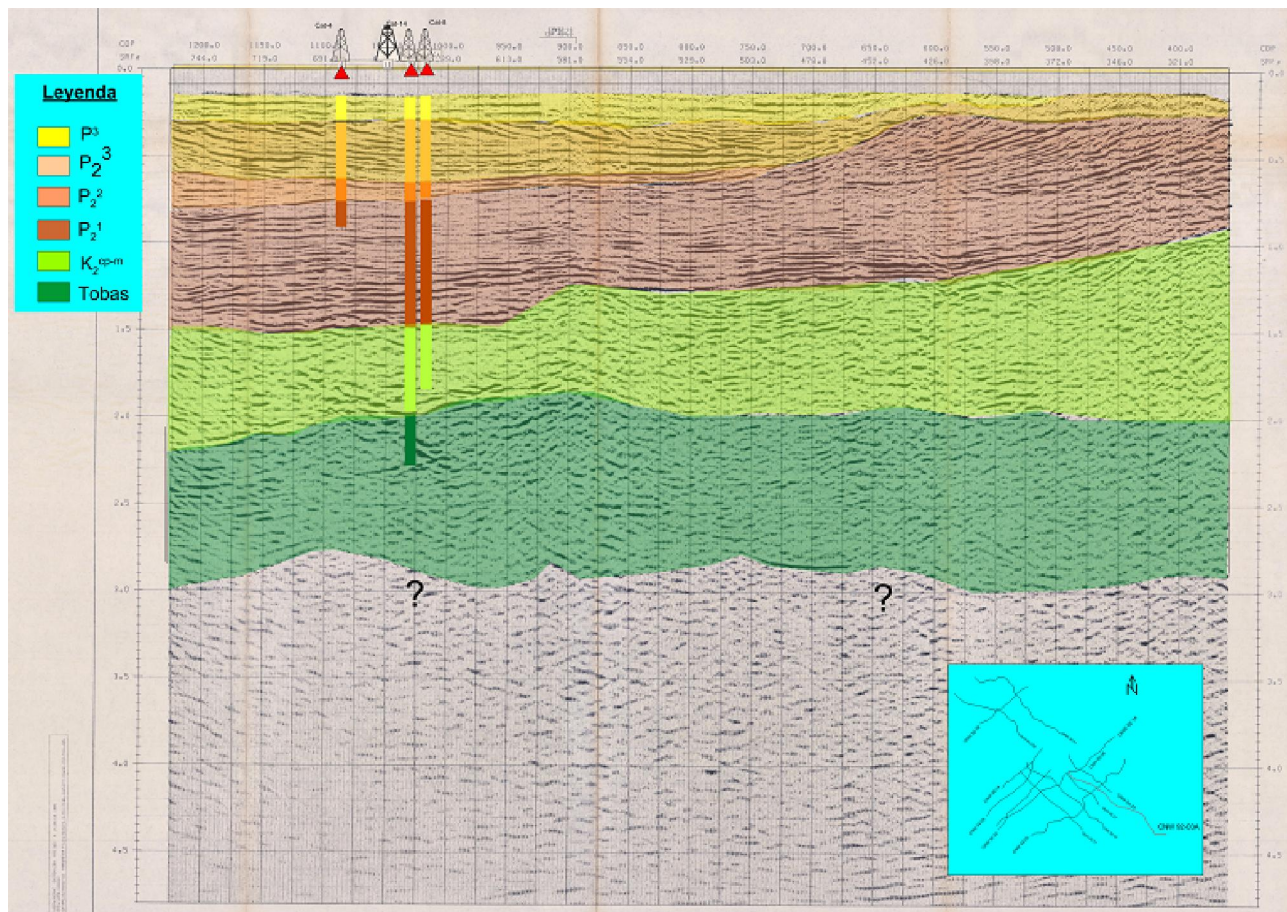


Figura IV.4. Perfil I-I', sobre la línea 92-03A, pozos Catalina-4, 14 y 8

Como se aprecia en la figura se pudieron establecer 6 paquetes lito-estratigráficos, los cuatro primeros correspondientes a rocas terciarias, las que van desde 0.8-1.5 segundos, comprobados por la perforación en los pozos Catalina-14 y Catalina-8. Los mismos van desde el Oligoceno hasta el Eoceno Inferior, según la descripción de los pozos están conformados por areniscas, calcarenitas, calizas y arcillas, para este primer bloque, los horizontes más potentes son las rocas del Eoceno

Superior y el Eoceno Inferior este último se encuentra haciendo la función de sello por su litología (componentes arcillosos) y su potencia (Perera Falcón, 1994). Hasta aquí el cuadro de ondas presenta numerosas reflexiones extensas y muy bien expresadas dinámicamente, con tendencia a la horizontalidad, lo que facilitó la calibración, ver figura IV.4. Una vez que los pozos cortan rocas cretácicas se comienza a dificultar la continuidad lateral de las reflexiones, pero aun así se pudo asumir los topes y bases por medio de la calibración de los horizontes sísmicos, por el tope fue más sencillo puesto que dos de los pozos cortaron la base del Terciario, Catalina-14 y 8, pero solo la base del Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano tope de las tobas fue cortada por el pozo Catalina-14, por lo que se amarro además con la línea, 92-14, pues en ella dos de los pozos presentes cortaron tobas, por lo tanto la base del Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano se pudo diferenciar con mayor grado de confiabilidad. Para el caso de las secuencias tobaceas del Arco de Islas del Cretácico el tope se estableció a partir de los pozos que la cortan, para este perfil el Catalina-14 y su base fue propuesta, para los tres perfiles 1.00 segundos después del valor que registro la línea como el tope de las mismas, los que representa 1000m aproximadamente, basando esta presunción en el Modelo Geológico propuesto para Cuenca Central según Otero, et al. (1993) el cual expresa que en el área las tobas están en el orden de 1.00 km de espesor. Ver figura II.8.

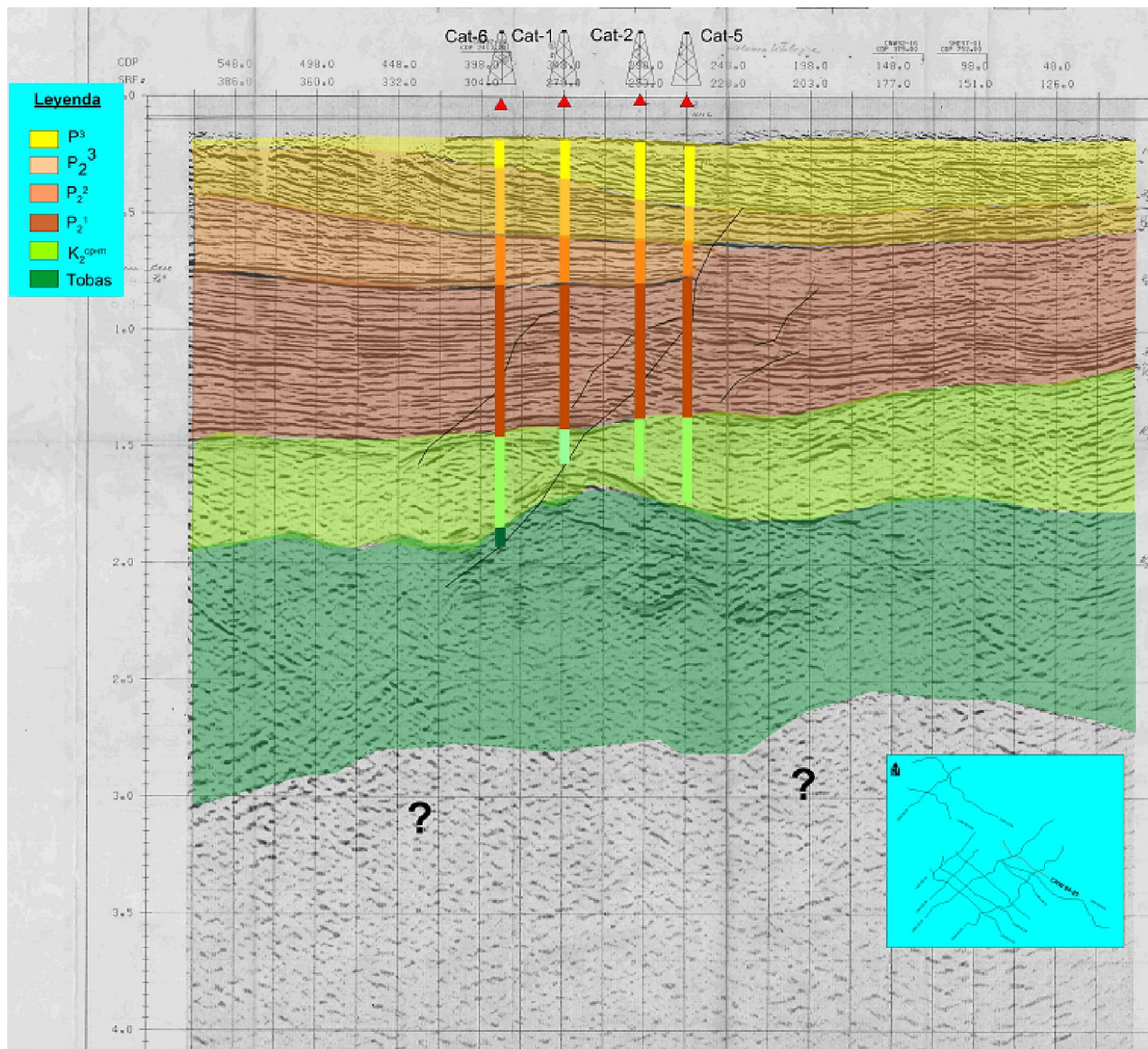


Figura IV.5. Perfil II-II', sobre la línea 94-25, pozos Catalina-6, 1,2 y 5.

Como en el perfil anterior en este se pudieron establecer 6 horizontes lito-estratigráficos, figura IV.5, los cuatro primeros correspondientes a rocas terciarias, las que alcanzan hasta 1.5 segundos, comprobados por la perforación en los cuatro pozos. El orden de las secuencias va desde el Oligoceno en la parte más alta hasta el Eoceno Inferior, los horizontes que mayor representación poseen son el Oligoceno y el Eoceno Inferior con tendencia a ir aumentando hacia la parte sureste de la línea. Para el caso de las secuencias del Eoceno Medio se acuñan de manera brusca cerca del pozo Catalina-5, comportamiento que debe estar asociado a la falla profunda que se aprecia claramente en el perfil, por la dirección que posee la falla (noroeste), debe tratarse de un evento asociado a movimientos de transcurrancia, además muy comunes el área de estudio, por su

condición de cuenca acuesta (piggyback). Las cuencas a cuestras tienen la particularidad de que continúan desarrollándose mientras son transportadas tectónicamente, lo cual queda registrado por el *acuñamiento de unidades estratigráficas y por la existencia de discontinuidades* dentro de la cuenca transportada (Ori y Friend, 1984).

Hasta aquí el cuadro de ondas presenta numerosas reflexiones extensas y muy bien expresadas dinámicamente, con tendencia a la horizontalidad, ver figura IV.5. Para el caso de las rocas cretácicas fue más complicado para la calibración por la ausencia casi total de las reflexiones con calidad, el tope se pudo identificar porque los cuatro pozos cortaron rocas cretácicas, para su base, solo un pozo por su profundidad sobrepasó el tope identificándolo a 1.8 segundos, por lo que se procedió al amarre con la línea 92-14 y así tener mayor certeza de dicha base. Para el caso de las secuencias tobaceas el tope se estableció a partir de los pozos que atravesaron las mismas, para este perfil el Catalina-6 y la metodología aplicada para conocer su base fue explicada en el caso del perfil anterior, que como se enuncio fue la misma para los tres perfiles dado que estos sus pozos no cortan en ninguno de los casos la base de las tobas.

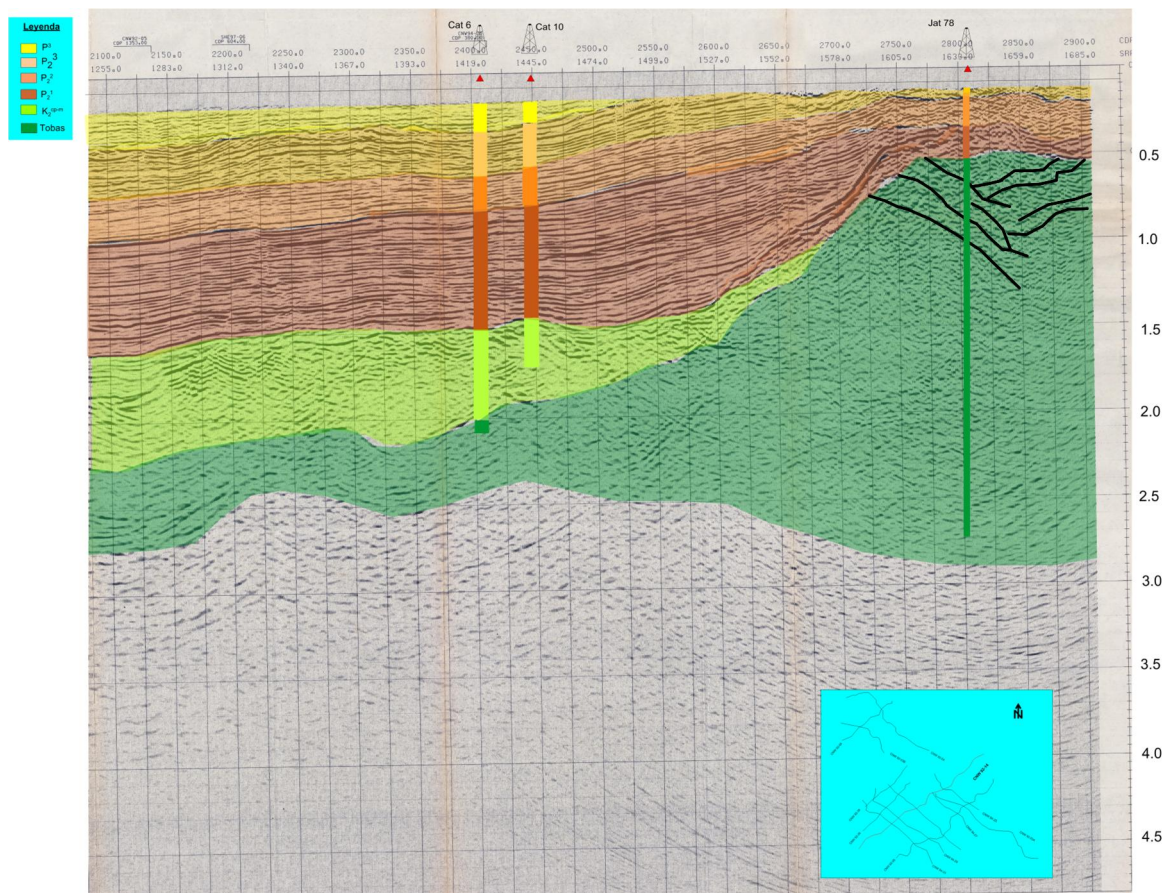


Figura IV.6. Perfil III-III', sobre la línea 92-14, pozos Catalina-6, 10 y Jatibonico-78

Para este perfil como en los casos anteriores se rebelaron 6 horizontes lito-estratigráficos. Los primeros cuatro horizontes pertenecen a rocas terciarias, las que en este caso oscilan entre 0.5 a 1.5 segundos, pues como es conocido, este perfil hacia la parte noreste pertenece al alto estructural Jatibonico, evento que tuvo lugar durante la orogenia y por tanto afectó a dichos paquetes de rocas, no se puede definir con claridad pero se pudiera pensar en un apilamiento de las secuencias del arco y por las características de los reflectores que constituyen su tope, se asocia a una estructura en flor positiva, que bien se ajusta al sistema de fallas transcurrentes La Trocha. El orden de las secuencias del primer paquete va desde el Oligoceno, en la parte más alta hasta el Eoceno Inferior, se puede apreciar que el horizonte de mayor potencia es el del Eoceno Inferior con tendencia a ir disminuyendo hacia la parte noreste de la línea. Como en los dos perfiles anteriores hasta aquí el cuadro de ondas presenta numerosas reflexiones extensas y muy bien expresadas dinámicamente, (ver figura IV.6).

Ya para las rocas cretácicas y las tobas que aparecen debajo fue complicado calibrar con exactitud por la ausencia de reflexiones con calidad, el tope y base del Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano se pudo identificar porque dos de los tres pozos atravesaron dichas secuencias (Catalina-6 y Catalina-10), el pozo Jatibonico-78 no corto la secuencia antes mencionadas dadas sus características. Para el caso de las secuencias tobaceas el tope se estableció a partir de los pozos que atravesaron las mismas, para este perfil el Catalina-6 y Jatibonico-78, nótese como solo en este pozo y único en el área las tobas son atravesadas apenas se alcanzan los 500m y continúan hasta los 4336m, apilado que solo se le puede atribuir a la repetición de las mismas provocados por los cabalgamientos, ya para la parte más al suroeste, donde aparecen los pozos catalina si se pudo aplicar la metodología que hasta el momento se usó en los dos casos anteriores, por su similar comportamiento.

De manera general se pudiera concluir que existen dos paquetes sísmicos en el área, uno superior (hasta el tope del Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano) el cual presenta un cuadro de ondas con numerosas reflexiones extensas y muy bien expresadas dinámicamente y un paquete sísmico inferior, que abarca las rocas del Cretácico, este horizonte se presenta caótico con algunas esporádicas reflexiones, para esclarecer los topes y bases, fueron utilizadas las profundidades resultantes del sismocarotage de los pozos Jatibonico-78, Catalina-5 y Catalina-14, amarrando conjuntamente con la información que facilitó el trabajo geológico en los pozos.

4.3 PROPUESTA DE NUEVAS ÁREAS CON PERSPECTIVAS PARA LA ACUMULACIÓN DE HIDROCARBUROS EN LAS SECUENCIAS COMPRENDIDAS ENTRE EL CRETÁCICO SUPERIOR CAMPANIANO-MAASTRICHTIANO Y LAS TOBAS.

Inicialmente para esta investigación se pretendía confeccionar un mapa estructural por el tope del Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano, en el Software Surfer 10.0, para luego tener un criterio más sólido a la hora de proponer nuevas áreas con perspectivas para la acumulación de hidrocarburos, pero a medida que se fue avanzando en el tema, se pudo comprobar que no sería posible mostrar un mapa con la calidad que requiere esta etapa integrando solamente el criterio de los datos sísmicos y geológicos con que se contó, y si se le añade la falta de resolución que presenta el cuadro de ondas por debajo del Terciario, se hace mucho más riesgoso. Para el éxito de esta etapa se hace necesario primeramente mejorar la resolución mediante un filtrado que permita revelar mejor los horizontes sobre todo a partir de la aparición de las rocas de edades cretácicas, otra tarea que se impone es rasterizar la información que se tiene en formato papel y la que se encuentra de forma magnética (cartrige) convertirla a formato digital, todo esto permitirá el empleo de softwares como Petrel, en el cual se pueden revelar en un ambiente 3D las estructuras que no se pueden apreciar en los perfiles sismo-geológicos confeccionados y con ello poder proponer nuevas áreas perspectivas para la acumulación de hidrocarburos.

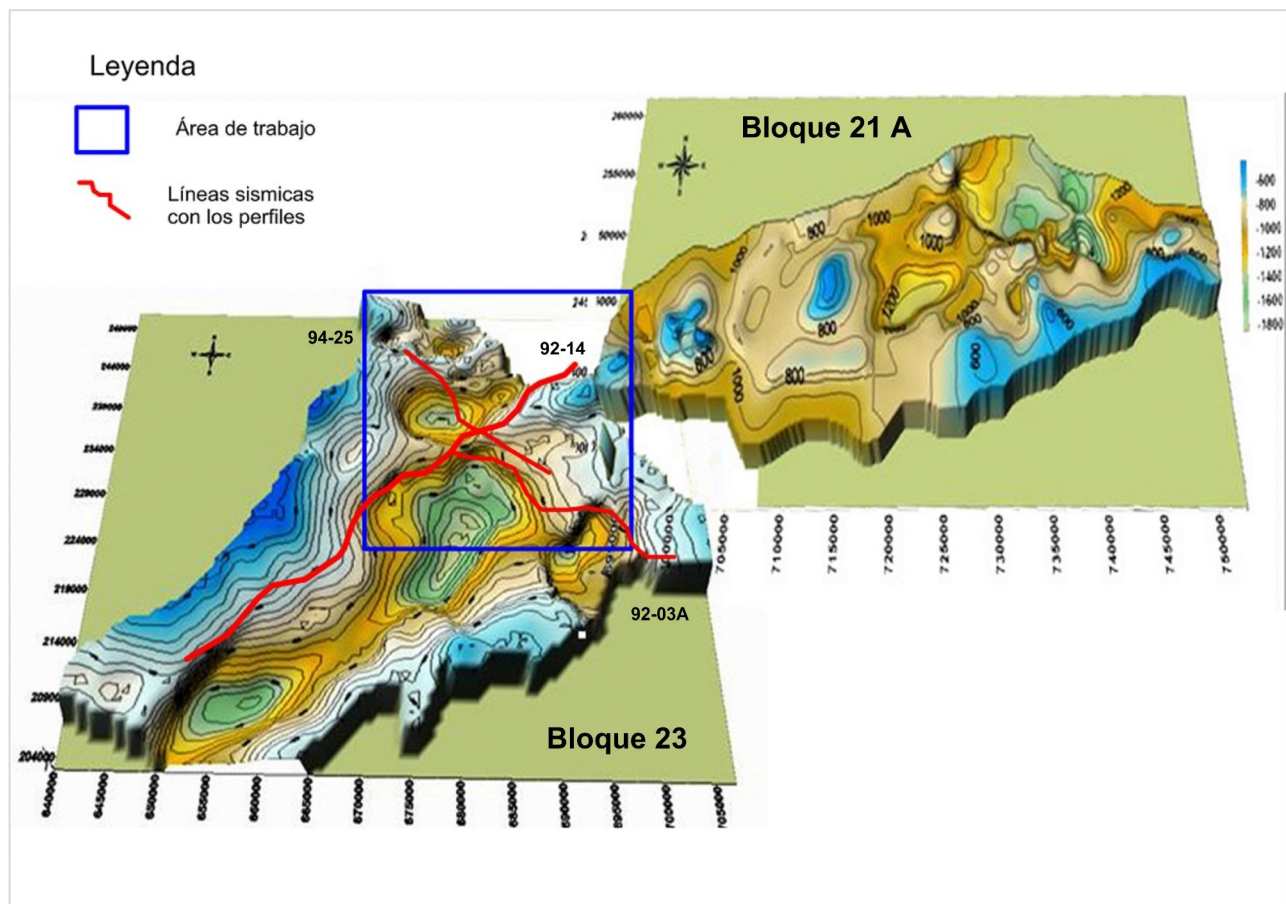


Figura IV.7. Mapa estructural. Horizonte sísmico cercano a base del Terciario-tope del Cretácico: Horizonte verde claro. Martínez, E. (2008).

Pese al bajo grado de estudio alcanzado, se ratifica lo que otros autores ya habían planteado (Milián, E, et. al, 1987,1989; Álvarez, J. et, al, 1993) las posibilidades de encontrar nuevos yacimientos de petróleo y gas en el Bloque 23, son muy bajas. Hasta donde se pudo apreciar en los perfiles, no existen grandes estructuras en forma de cúpulas o formas abovedadas que den idea de trampas estructurales con capacidades significativas. Refiriéndose a Cuenca Central los autores antes mencionados comentan además que las áreas de mayor interés están en la región nororiental de área (Bloque 21 A), figura IV.7, fundamentalmente en trampas estructurales, pero al tomar en consideración la cantidad de pozos perforados y el éxito alcanzado en dicha zona se hace necesario como en nuestro caso en cuestión una regionalización o zonación con vista a definir las áreas más perspectivas.

CONCLUSIONES:

- Quedó demostrado la efectividad de la Calibración por los métodos sismo-geológicos para la correlación de horizontes lito-estratigráficos sobre líneas sísmicas 2D de reflexión.
- Se confeccionaron tres perfiles sismo-geológicos en los cuales se diferenciaron seis horizontes lito-estratigráficos.
- Se pudo separar el corte en dos grandes paquetes, un primer paquete que comprende los primeros cuatro horizontes, en los cuales el cuadro de ondas presenta numerosas reflexiones extensas y muy bien expresadas dinámicamente, con tendencia a la horizontalidad y otro caótico y muy difícil de seguir por sus esporádicas reflexiones, comprendido por rocas cretácicas (Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano y Tobas pertenecientes al Arco de Islas).
- El Bloque 23 presenta muy bajo grado de estudio en formato digital que permita proponer de forma certera nuevas áreas para la exploración de hidrocarburos.

RECOMENDACIONES:

- Reprocesar las líneas sísmicas con vistas a mejorar el cuadro de ondas, sobre todo a partir de Cretácico en aras de determinar con mejor exactitud, los topes y bases a partir de dicho horizonte.
- Extender la metodología aplicada a otras áreas de Cuenca Central, dentro del Bloque 23.
- Aplicar la metodología empleada a otras cuencas con características similares a la nuestra, Cuenca Ana María, Cuenca Mercedes.
- Hacer estudios de sismoestratigrafía secuencial en los horizontes terciarios para esclarecer la naturaleza de las interioridades que se aprecian en las líneas sísmicas y que pudieran contener información de interés, composición química de la rocas, paleoambientes, eventos de magnitud como transgresiones, regresiones y discordancias estratigráficas.

BIBLIOGRAFÍA:

- Albear, J.F., and Iturralde-Vinent, M.A., 1985, Estratigrafía de las provincias de La Habana, in Iturralde-Vinent, M.A., ed., Contribución a la geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana: Editorial Científico-Técnica, La Habana, Cuba, p. 12–54.
- Álvarez, J. Valladares, S. Perera, C. Cruz, R. Rodríguez, R. López, J. O. M. Rodríguez, O. Pascual, Z. Domínguez, V. Barreras, B. Villavicencio, 2000. Evaluación de objetivos y prospectos para la exploración por CUPET del Bloque 21. CEINPET. La Habana Archivo E. 468.
- Álvarez, J., C. Perera, R. Otero, M. Rodríguez, J. R. Carballo. 1994. Evaluación del potencial de exploración del Bloque 21. Región noreste de Cuenca Central. CIDP. La Habana. CEINPET Archivo E-65.
- Álvarez, J., J. G. López, J. O. López. R. García. C. Perera, R. Tenreiro, 1993. Dictamen de exploración del noreste de Cuenca Central CIDP. La Habana ONMR 4305.
- Bandt, K., 1958, Geology of the Jatibonico area, Las Villas and Camagüey provinces: La Habana, Cuba, Archivo del Servicio Geológico Nacional, unpublished report.
- Blanco, J. (1999). “Estratigrafía y paleogeografía de las cuencas superpuestas de Cuba centro-oriental”. Tesis doctorado en ciencias técnicas. ICT, ISMM, Moa. Cuba. 146
- Cobiella, J. (1984). Curso de Geología de Cuba, Editorial Pueblo y Educación, Cuba.135
- Cruz-Orosa. (2006). “Análisis Tectono-Estratigráfico de la Zona de Fallas La Trocha, Cuba Central”. Tesis de Maestría ciencias técnicas, ICT, ISMM, Moa. Cuba. 83 p.
- Cruz-Orosa, J., 2012. Las Cuencas sinorogénicas como registro de la evolución del orógeno cubano: implicaciones para la exploración de hidrocarburos. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. Barcelona. España. 193 p.
- Dickinson, W. R. (1974), Plate tectonic and sedimentation, in Tectonic and Sedimentation, edited by W. R Dickinson, pp. 1–27, SEPM Special Publication 22, Tulsa, Oklahoma.
- Dickinson, W. R. (1976), Plate tectonic evolution of sedimentary basins, AAPG Continuing Education Course Notes Series 1, 62 pages.
- Draper, G., Barros, J. A. 1994. Cuba. En: Caribbean Geology an introduction. Donovan, S. K.; Jackson, T. A. (eds), Jamaica. 65-86.

- Ducloz, C., Vuagnat, V., 1962. À propos de l'âge des serpentinites de Cuba. Arch. Sci., Soc. Phys. Hist. Nat., 15(2), 309-332.
- Echevarría, G., C. Sosa, C. Fariña, M. Yero, R. García, J. López, R. Otero, R. Tenreiro, E. Linares, R. Cruz, R. Rodríguez, R. Laguardia, and O. Castro (1995), Informe sobre el bloque 11, La Habana, Cuba, Centro de Investigaciones del Petróleo, unpublished report.
- Einsele, G. (2000), Sedimentary Basins: Evolution, Facies and Sediment Budget, Springer-Verlag, 792 pages.
- 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 Industrias Básicas, La Habana.
- Hatten, C.W., 1957, Geologic report on Sierra de los Órganos: La Habana, Cuba, Servicio Geológico Nacional. (unpublished report).
- Hatten, C.W., Schooler, O.E., Giedt, N., and Meyerhoff, A.A., 1958, Geology of central Cuba, eastern Las Villas and western Camagüey provinces: La Habana, Cuba, Servicio Geológico Nacional. (unpublished report).
- Hatten, M. Somin, T. C. Onstott, G. Millán, and E. Linares (1989), $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and U-Pb evidence for Late Proterozoic (Grenville-age) continental crust in north-central Cuba and regional tectonic implications, Precambrian Research, 42, 325–341.
- Hempton, M. R., and Barros, J. A. (1993) Mesozoic stratigraphy of Cuba: Depositional architecture of a southeast facing continental margin, GCSSEPM Foundation 13th Annual Research Conference Proceeding, 193–209
- Humboldt, A., 1826, Voyage aux regions equinoxiales du Nouveau Continent fait in 1799, 1800, 1801, 1802, 1803 et 1804: Gide, Paris, v. 2, p. 229–231.
- Ingersoll, R. V. (1988), Tectonic of sedimentary basins, GSA Bulletin, 100, 1704–1719.
- Ingersoll, R. V., and C. J. Busby (1995), Tectonics of sedimentary basins, in Tectonic of Sedimentary Basins, edited by C. J. Busby, and R. V. Ingersoll, pp. 1–52, Blackwell Science Publishing, Oxford.
- Iturralde-Vinent, M. A., 1996a. Introduction to Cuban Geology and Geophysics. In: Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba (Ed. Iturralde-Vinent, M.A.). IGCP Project 364, Special Contribution 1, 3-35.

- Iturralde-Vinent, M. A., D. Tchounev, and R. Cabrera (Eds.) (1981), Geología del territorio de Ciego-Camagüey-Las Tunas: Resultados de las investigaciones científicas y del levantamiento geológico escala 1:250 000, La Habana, Cuba, Archivo del Servicio Geológico Nacional, unpublished report.
- Iturralde-Vinent, M.A., 1995. Cuencas sedimentarias del Paleoceno-Eoceno de Cuba. Bol. Soc. Venezolana de Geol., 20(1-2), 75-80.
- Iturralde-Vinent, M.A., 1997. Introducción a la geología de Cuba. En G. Furrázola Bermúdez, K. Núñez Cambra (eds.). Estudios sobre geología de Cuba, Instituto de Geología y Paleontología, 35-68 (publicado en marzo de 1998).
- Iturralde-Vinent, M.A., 1998. Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba. Acta Geológica Hispánica, 33, 9-56.
- Jiménez, A., and Sokolova, J.B., 1964, Geología de Cuba: La Habana, Cuba, 239 p.
- Kozary, M.T., and Brönnimann, P., 1955, Geological Memorandum MK-4. Geology of the Ciego de Avila- Tamarindo, Camaguey: La Habana, Cuba, Archivo del Servicio Geológico Nacional, unpublished report.
- Léxico estratigráfico de Cuba. 2002. Instituto Cubano de Geología y Paleontología. La Habana. Cuba
- López, J.G, Echeverría, G., Sosa, C., Fariña, C., Yero, M., García, R., Otero, R., Tenreiro, R., Linares, E., Cruz, R., Rodríguez, R., Laguardia, R., Castro, O, 1995. Informe sobre el bloque 11 (inédito), 40 p.
- Martínez, E. (2008) "Configuración estructural y perspectivas gasopetrolíferas de cuenca central" Tesis en opción al Título Académico de Master en Geología.
- Martínez, E., García, E., Sosa, B., 2003. Estructura sismo-geológica del occidente de la Cuenca Santo Domingo. Memorias del Congreso Cubano de Geología.
- Meyerhoff, A. A., and C. W. Hatten (1968), Diapiric structure in central Cuba, *AAPG Memoir*, 8, 315–357p.
- Meyerhoff, A. A., and C. W. Hatten (1974), Bahamas salient of North America: Tectonic framework, stratigraphy and petroleum potential, *AAPG Bulletin*, 58, 1201–1239.
- Miall, A. D. (2000), Principles of Sedimentary Basin Analysis, third edition: Springer-Verlag, New York, 616 pages.

- Milán, E., R. Segura, R. García, J. Fernández, E. Flores, J. G. López, R. Tenreiro, J. O. López (1987). Formaciones gasopetrolíferas del Mesozoico y Cenozoico situados en la Cuenca Central de Cuba y su relación con la evaluación de las perspectivas gasopetrolíferas del país. CIDP. La Habana ONMR 3579.
- Milán, E., M Rodríguez, O. Castro, R. Otero, R. Tenreiro, 1989. Informe constitución geológica y reevaluación gasopetrolífera del sector Majagua-Hatuey-Guayos. CIDP. La Habana ONMR 3785.
- Mitchell, A. H. G., and H. G. Reading (1986), Sedimentation and tectonics, in *Sedimentary Environments and Facies*, edited by H. G. Reading, pp. 471–519, Blackwell Publishing, Oxford.
- Ori, G., and P. F. Friend (1984), Sedimentary basins formed and carried piggyback on active thrust sheets, *Geology*, 12, 475–478.
- Ortega, P., Ros, P. (1931). Informe geológico sobre el denuncio “Macagua”: Ciudad Habana, Centro de Investigaciones del Petróleo, MINEM (Informe Interno).
- Perera, C., Linares, E, Tenreiro, R. Correlación Litoestratigráfica de Cuenca Central de Cuba. Centro de Investigaciones del Petróleo. Washington No. 169, Habana, 12000.
- Pindell, J., Dewey, J.F., 1982. Permo-Triassic reconstruction of western Pangea and the evolution of the Gulf of Mexico-Caribbean region. *Tectonics* 1 (2), 179-212.
- Pushcharovsky, Yu. (ed.) (1988), Geologic map of the Republic of Cuba, scale 1:250000 (40 sheets), La Habana, Cuba/Moscow, USSR, Academy of Sciences of Cuba/USSR Academy of Sciences.
- Somin, M.L., and Millán, G., 1981, Geology of the metamorphic complexes of Cuba (in Russian): Moscow, Nauka, 218 p.
- Sorá A., E. Martínez, J. Prol, M. García, R. Rodríguez, M. Lastra, G. Ameijeira, M. Juara, and B. Sosa (2000), Reinterpretación geólogo-geofísica en el norte de la Cuenca Central. Área Jatibonico-Cacahual, La Habana, Cuba, Centro de Investigaciones del Petróleo, unpublished report
- Sosa, C., Cruz, R., Barceló, J., Varona, M. (2013). “Estudios y evaluaciones para la exploración de gas no convencional en la franja norte de crudos pesados y cuenca central. Centro de Investigaciones del Petróleo. Washington No. 169, Habana, 12000.

- Tenreyro, R, García, J. G. López. 1997. Evolución de los arcos volcánicos cubanos. CIDP. La Habana ONMR 4088.
- Tenreyro, R, R, García, J. G. López. 1997. Evolución de los arcos volcánicos cubanos. CIDP. La Habana ONMR 4088.
- Thiadens, A.A., 1937, Geology of the southern part of the province Santa Clara (Las Villas) Cuba: Geographische en Geologische Mededeelingen, v. 2, p. 1–69.
- Truitt, P., and G. Pardo (1953), Geologic Memorandum PT-21. Geology of Santa Clara-Calabazar- majuaní-Placetas area, La Habana, Cuba, Servicio Geológico Nacional, unpublished report.
- Wassall, H., Pardo, G. (1953). Memorandum HW-16. Geología del área de Santa Clara: Cuidad Habana, Oficina Nacional de Recursos Minerales, MINEM (Informe Interno).
- Wassall, H., Pardo, G. (1953). Memorandum HW-16. Geología del área de Santa Clara: Cuidad Habana, Oficina Nacional de Recursos Minerales, MINEM (Informe Interno).
- Yparraguirre J. L., M. Varona.1996. Propuesta de trabajos a realizar en la Ventana Ampliada de Pina, en el Bloque 21. C. de Ávila. UPEP Majagua. Archivo.