



**Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes de Oca**

**Facultad de Geología y Mecánica**

**Departamento de Geología**

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

**Título:**

**Caracterización geológica del subsuelo en el campo petrolero Canasí.  
Franja Norte de Crudos Pesados de Cuba**

Trabajo de diploma presentada en opción al Título de Ingeniero Geólogo

**Autor: Reynier Alonso Cruz**

**Tutores: MSc. Osvaldo López Corzo (Centro de Investigaciones del Petróleo,  
Cuba)**

**MSc. Robert Ramírez (Universidad de Pinar del Río, Cuba)**

**Pinar del Río. 2011**

## **PENSAMIENTO**

*... no dudes, hombre joven. No niegues, hombre terco. Estudia y luego cree... la grandeza está en la verdad, y la verdad, es la virtud.*

*José Martí*

## **PÁGINA DE ACEPTACIÓN**

---

Presidente del Tribunal

---

Secretario

---

Vocal

Ciudad y Fecha:

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

---

Declaro que soy autor de este Trabajo de Diploma y que autorizo a la Universidad de Pinar del Río, a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Firma: \_\_\_\_\_

Reynier Alonso Cruz

ralonso@geomail.upr.edu.cu

Reynier Alonso Cruz autoriza la divulgación del presente trabajo de diploma bajo licencia Creative Commons de tipo Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada, se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de las obras y no realice ninguna modificación de ellas. La licencia completa puede consultarse en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/legalcode>

Reynier Alonso Cruz autoriza al departamento de Geología, adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de materiales didácticos disponible en: <http://repogeo.upr.edu.cu/Geologia/Tesis/Pregrado/>

Reynier Alonso Cruz autoriza al Departamento de Geología, adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de tesinas disponible en: <http://revistas.mes.edu.cu>

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecerle especialmente a mi familia, en especial a mi papá por infundir en mí valores que me han ayudado a salir adelante y llegar a ser lo que soy hoy.

A mi tutor Osvaldo López Corzo por ser guía para mi futura vida profesional, por la oportunidad de ser vuestro diplomante, por compartir experiencias académicas y profesionales, por la atención dedicada durante este tiempo, solidaridad, abnegación y gran apoyo incondicional.

A todos mis compañeros de aula, Jessica Pedre Castro; José María; Charly García; Crispín Eworo; Edchilson Cravid; Wanderley Lima; Jorge Luis de la Cruz; Dunia Figueroa; Johana Díaz; Marisleidys Placeres; Marlon Blanco; Carlos Manuel Valdivia y otros que por una razón u otra ya no forman parte del colectivo.

Mis más sinceros agradecimientos a todos los profesores del Departamento de Geología, por transmitirnos sus conocimientos y todos sus esfuerzos para formarnos como verdaderos profesionales.

A todos los trabajadores del CEINPET que de una forma u otra me han ofrecido su ayuda gentil y profesional.

A aquellas personas que han pasado en algún momento por mi vida y han dejado una huella en mí para siempre.

A todos ellos:

... muchas gracias.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de tesis a mi familia, a ella le debo todo lo que tengo y lo que soy.

A mis profesores, amigos y conocidos que creyeron en mí, y me apoyaron siempre en los momentos difíciles.

## **RESUMEN**

El presente trabajo constituye un ejemplo de caracterización geológica del subsuelo, aspecto que se relaciona tanto con los procesos de exploración como producción de petróleo. El área de Canasí, hoy inexplorada, fue productora de grandes volúmenes de petróleo, sin embargo, aún no están definidos algunos aspectos de su constitución geológica. Con el objetivo de aportar nuevos criterios geológicos se seleccionaron 4 pozos en esta área, integrándose datos litológicos, paleontológicos, petrofísicos y sísmicos. Se lograron esquemas de correlación sobre la base de las características de las facies y sus respuestas en los registros de pozo, hecho que contribuyó al conocimiento del área, a la actualización de su modelo y a definir áreas con perspectivas para la perforación de nuevos pozos. Además se consiguió una columna geológica generalizada del área.

## **ABSTRACT**

The present research is an example of subsurface geological characterization, such topic is related both petroleum exploration and production processes. Canasí area, unexploited at present day, was productive of huge oil quantities, however, some aspects concerning to its geological constitution are not well defined yet. With the goal of giving new geological criteria four wells were selected in the block; so many lithologic, paleontological, petrophysical and seismic data were integrated. Several cross sections were also conceived from the basis of facies characteristics and the consequently wireline log response, supporting the geological model and the knowledge of the area, some new prospective areas were proposed. Besides, a new generalized geologic column done.

## **LISTADO DE FIGURAS**

Figura I.1 Esquema de ubicación geográfica del área.

Figura I.2 Proyección tridimensional de los pozos.

Figura II.1 Perfil esquemático del subsuelo cubano.

Figura III.1 Mapa Geológico del Norte de las provincias de Mayabeque y Matanzas.

Figura III.2 Esquema de propagación de los cabalgamientos en La Habana – Matanzas.

Figura IV.1 Diagrama de Flujo.

Figura IV.2 Registros radiactivos CGR y SGR, la separación de las curvas indica el contenido de Uranio.

Figura IV.3 Ambiente de pared del pozo y terminología asociada.

Figura IV.4 Registros resistivos LLD y LLS, su separación indica movimiento de fluidos y por lo tanto permeabilidad.

Figura IV.5 Registro de porosidad por neutrón (NPHI).

Figura IV.6 Afloramientos visitados en el área de Canasí. A: Ofiolitas fracturadas del Terreno Zaza. B: Margas y calizas organógenas del Grupo Universidad. C: Calizas masivas de la formación Güines. D: Calizas estratificadas de la formación Cojímar.

Figura IV.7 Movimiento de los cuttings en el caño del pozo.

Figura IV.8 Muestras de canal a intervalos de 5 m.

Figura V.1 Texturas clásticas y laminares evidenciadas por los registros de imágenes (izquierda) y por secciones delgadas a núcleos (derecha).

Figura V.2 Nannoplancton calcáreo del Eoceno Inferior en rocas arcillosas de Capdevila.

Figura V.3 Serpentinitas del complejo ofiolítico.

Figura V.4 Limolitas y arcillas de Vía Blanca.

Figura V.5 Pedernales de diversos colores, base de Vega Alta.

Figura V.6 Diferentes tipos de calizas y pedernales dentro de Veloz – 1.

Figura V.7 Calizas dentro de Veloz – 2, muchas de ellas bandeadas por bitumen.

Figura V.8 Calizas cristalinas dentro de Veloz – 3.

Figura V.9 Comportamiento de las curvas utilizadas frente a cada intervalo litológico.

Figura V.10 Histogramas de frecuencias para valores de radiactividad y porosidad de todas las unidades geológicas.

Figura V.11 Histograma de frecuencias para valores de resistividad.

Figura V.12 Columna geológica generalizada para el área de Canasí.

Figura V.13 Simbología para litologías utilizada en la columna generalizada.

Figura V.14 Correlación de los pozos de Canasí.

Figura V.15 Proyección de los pozos y topes de las unidades geológicas a lo largo de su trayectoria.

Figura V.16 Proyección en planta de los pozos estudiados y líneas sísmicas.

Figura V.17 Cuadro ondulatorio de la línea SHE99-024, proyección de los pozos y estructura con posible saturación de petróleo.

## **Anexos**

Anexo 1. Zaranda, esta tamiza el lodo y se obtienen las muestras de canal o cuttings.

Anexo 2. Microscopio estereoscópico y útiles convencionales para manejo de muestras (HCl, pinzas, portamuestras, puntas de acero y cobre para estimar dureza).

Anexo 3. Proyección tridimensional de los pozos Canasí. (Vista desde el este).

Anexo 4. Proyección tridimensional de los pozos Canasí. (Vista desde el oeste).

Anexo 5. Proyección tridimensional de los pozos Canasí, como cortan la línea sísmica. Se puede observar también los topes y bases de los mismos. (Vista desde el este).

Anexo 6. Proyección tridimensional de los pozos Canasí, como cortan la línea sísmica. Se puede observar también los topes y bases de los mismos. (Vista desde el oeste).

Anexo 7. Proyección tridimensional de los pozos Canasí, como cortan varias líneas sísmicas. Se puede observar también los topes y bases de los mismos. (Vista desde el este).

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Diseño de la investigación .....	2
CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS Y ECONÓMICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO. ....	3
I.1 Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	3
I.2 Relieve y particularidades geomorfológicas. ....	3
I.3 Clima. ....	5
I.4 Vegetación. ....	6
I.5 Fauna. ....	6
I.6 Red hidrográfica.....	7
I.7 Características económicas. ....	7
CAPÍTULO II. HISTORIA DE LAS INVESTIGACIONES ANTERIORES. ....	8
II.1 Etapa 1800-1900 .....	8
II.2 Etapa 1900-1959 .....	9
II.3 Etapa 1959-1990 .....	11
II.4 Etapa 1990-Actual .....	14
CAPÍTULO III. GEOLOGÍA REGIONAL DEL SECTOR CANASÍ “FRANJA NORTE DE CRUDOS PESADOS” .....	18
III.1 Breve conocimiento geológico de la región.....	18
III.2 Estratigrafía del área de estudio.....	21
III.2.1 Etapa preorogénica.....	22
III.2.2 Etapa orógenica .....	25
III.2.3 Etapa postorogénica. ....	28
III.3 Tectónica del Anticlinal Habana – Matanzas.....	32
III.4 Magmatismo del Anticlinal Habana-Matanzas. ....	33

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN. ....	35
IV.1 Etapa 1.Trabajo de gabinete .....	35
IV.1.1 Registros radioactivos . ....	38
IV.1.2 Registros eléctricos . ....	39
IV.1.3 Registros neutrónicos. ....	41
IV.2 Trabajo de campo. ....	41
IV.3 Trabajo investigativo. ....	44
 CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DEL SUBSUELO. DISCUSIÓN. ....	47
V.1 Descripciones litológicas de cada unidad. ....	48
V.2 Características petrofísicas de las unidades geológicas. ....	54
V.3 Zonas con interés exploratorio en los alrededores de Canasí. ....	61
 CONCLUSIONES .....	65
RECOMENDACIONES. ....	66
BIBLIOGRAFÍA. ....	67
ANEXOS. ....	74

## **INTRODUCCIÓN**

El sector Canasí pertenece a la Franja Norte de Crudos Pesados de Cuba, ubicándose en la parte más oriental de la provincia Mayabeque (Figura I.1). En los años '90, con la inversión de las compañías extranjeras en nuestro país y específicamente en el sector petrolero, este bloque es licitado por la empresa canadiense Sherritt Oil&Gas. De esta manera comenzaron los trabajos de exploración de petróleo, con campañas sísmicas y perforación de los primeros pozos horizontales y altamente desviados, los cuales registraron producciones de crudo considerables (2000-4000 bbl/día) y contribuyeron al conocimiento del modelo geológico cubano.

Comenzaron así, a finales de los años '90, las primeras perforaciones en el sector de Canasí. A cada perforación fue acompañado un muestreo considerable de rocas, muestras de crudo, registros de pozo, registros de imágenes, de hidrocarburos gaseosos y parámetros mecánicos de perforación; todo lo cual fue poblando el subsuelo de datos geológicos con extraordinario valor. Particularmente en esta zona se registraron producciones muy elevadas de crudo durante más de 10 años, perforándose en total 14 pozos.

En este momento, debido al régimen de explotación acelerado que sufrieron estos pozos, únicamente se produce agua en este sector. Por este motivo, las reservas existentes en esta área son una incógnita, ¿podrá existir continuidad de las estructuras saturadas de petróleo dentro del campo? A pesar de las perforaciones mencionadas, la estratigrafía del subsuelo no es del todo clara en esta zona.

Con el presente trabajo se pretende hacer una caracterización geológica del subsuelo, basándose esencialmente en criterios estratigráficos y de constitución geológica. También se incorporarán datos de registros de pozo, de imágenes y líneas sísmicas. Las correlaciones geológicas y la detección de elementos estructurales son finalidades de primer orden en definir la existencia o no de zonas perspectivas dentro del área, para lo cual se seleccionaron 4 pozos que se estudiaron íntegramente: Canasí-3, Canasí-4, Canasí-6 y Canasí-9.

## **Diseño de la investigación**

### ➤ Problema

Existen aspectos desconocidos en la Estratigrafía del subsuelo en el campo petrolero de Canasí, estos pudieran aportar criterios sobre la posible existencia de nuevas estructuras saturadas de petróleo.

### ➤ Objeto de estudio

El subsuelo del área Canasí.

### ➤ Objetivo General

Evaluar el subsuelo del campo petrolero de Canasí mediante estudios litológicos, geofísicos y micropaleontológicos, para revelar aspectos desconocidos en cuanto a la constitución geológica del área y la posible delimitación de zonas perspectivas para la perforación de nuevos pozos.

### ➤ Objetivos específicos

- ✓ Estudiar, desde el punto de vista litológico y geofísico, cuatro pozos en el área Canasí. Se vincularán además datos micropaleontológico y sísmicos.
- ✓ Elaborar esquemas de correlación, que permitan evaluar la continuidad de las unidades en el subsuelo.
- ✓ Estimar, una vez identificados elementos estructurales de envergadura y utilizando perfiles sísmicos, zonas donde puedan extenderse las unidades definidas.

### ➤ Hipótesis

El análisis estratigráfico más detallado del subsuelo puede revelar zonas saturadas de petróleo en el área de Canasí.

## **CAPÍTULO I. CARACTERÍSTICAS FÍSICO – GEOGRÁFICAS Y ECONÓMICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO**

### **I.1 Ubicación geográfica de la zona de estudio**

El área de estudio se encuentra localizada en “La Franja Norte de Crudos Pesados de Cuba” (FNCP), esta se ubica en la costa norte de la provincia Mayabeque, y constituye una pequeña franja que pertenece al municipio de Santa Cruz del Norte (Figura I.1). El área limita al este con Puerto Escondido, al oeste con Jibacoa, al sur con el pequeño poblado de Canasí y hacia el norte con las aguas que bañan al Golfo de México. Todos los pozos estudiados tienen una construcción similar, partiendo su trayectoria muy próxima a la línea de costa y con dirección aproximada hacia el Norte, con una terminación final casi horizontal (Figura I.2).

Las coordenadas Lambert que limitan la zona son las siguientes:

$X_{\min} = 422000 \text{ m}$	$Y_{\min} = 368000 \text{ m}$
$X_{\max} = 426000 \text{ m}$	$Y_{\max} = 373000 \text{ m}$

### **I.2 Relieve y particularidades geomorfológicas**

En la zona norte de Mayabeque – Matanzas el relieve está caracterizado por elevaciones a todo lo largo de la costa norte, la anchura de esta cadena oscila entre 1 y 3km y su altura entre 40 y 100m. Lo más peculiar de su morfología es su cima casi plana, cuya altura varía poco lateralmente, y presenta una pendiente suave hacia el mar. También en la zona están presentes las elevaciones septentrionales, las cuales constituyen un relieve de montañas bajas, colinas y valles fluviales. El ancho de esta franja varía entre 6 y 13km. Las formas de relieve de las costas son del tipo abrasivo - cársicas, con el escarpe del borde de la plataforma muy cercano a las costas, al igual que el pie del borde del Talud insular. Este tramo costero presenta extensiones acantiladas rocosas, de poca altura, interrumpidas por playas y vegetación de manglar parcialmente transformado (Gutiérrez y Rivero, 1997).

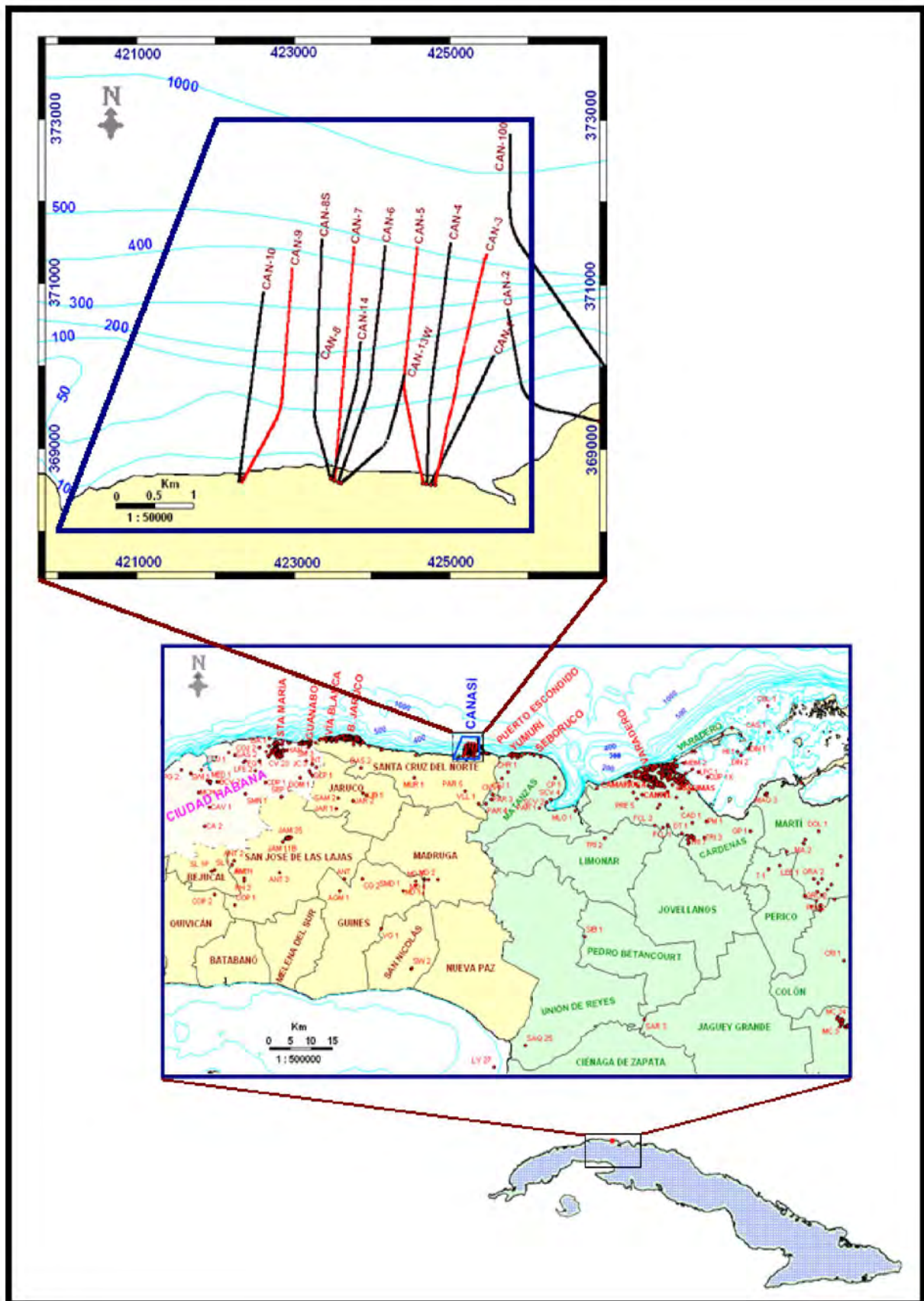


Figura I.1 Esquema de ubicación geográfica del área.

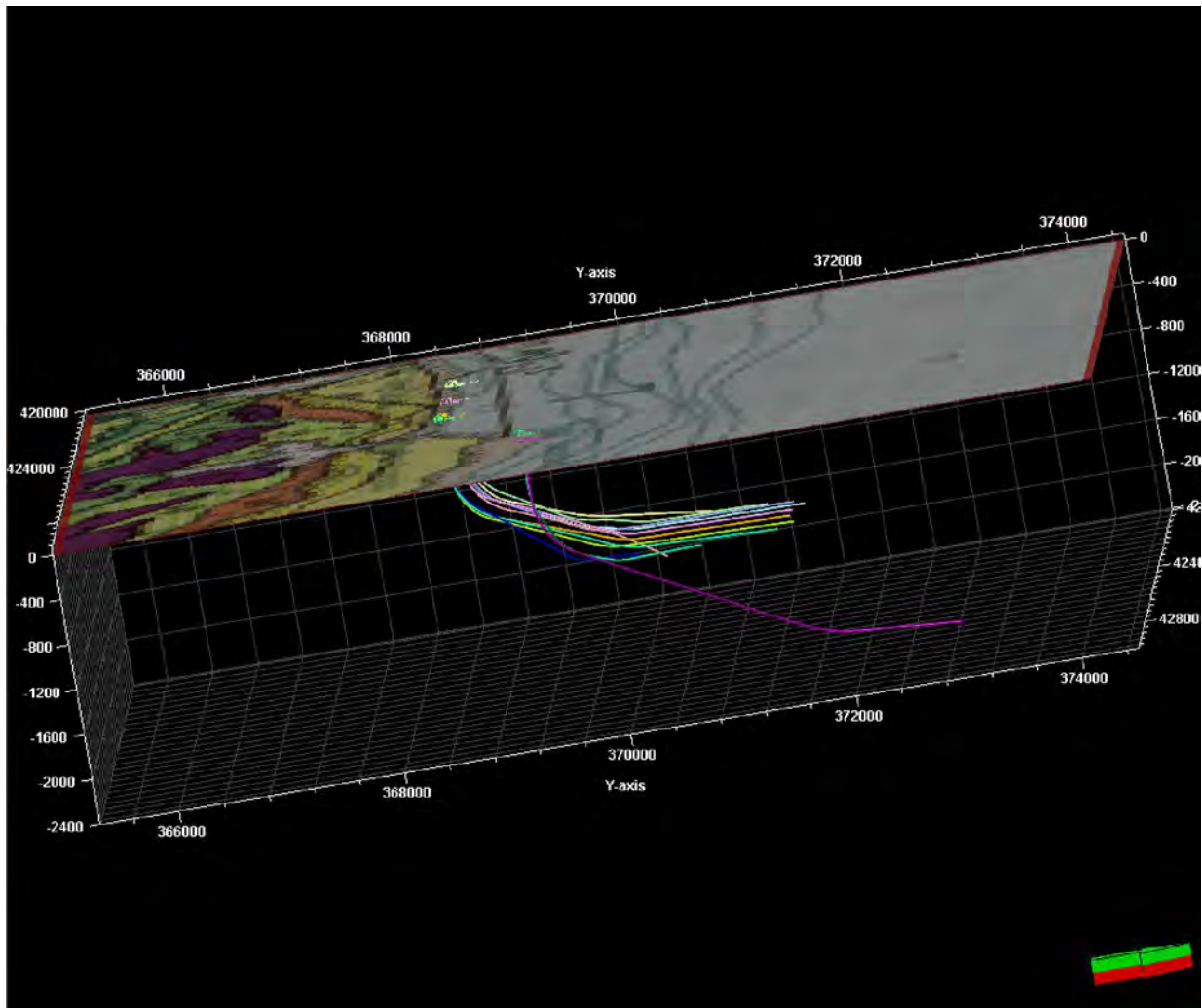


Figura I.2 Proyección tridimensional de los pozos.

### **I.3 Clima**

La región se caracteriza por un clima tropical con verano relativamente húmedo, el tiempo de sequías prevalece en los meses de noviembre a abril, la humedad relativa oscila entre 59% y 70% y durante las estaciones lluviosas (meses de mayo a octubre) el promedio de humedad es de 80% aproximadamente, las temperaturas máximas anuales están entre 32 C° y 36 C°, las mínimas entre 8 C° y 12 C°. Los valores de temperatura media anual fluctúan entre 22 C° y 26 C°, más alta hacia las costas, disminuyendo hacia el interior de la isla. La temperatura puede sufrir un ligero descenso con la elevación del relieve, siendo el mes de agosto el más caluroso del año. Las precipitaciones en el período lluvioso oscilan entre 800 y 1000 mm, en período seco entre 300 y 400 mm, con valores promedios anuales de 1200-1400 mm

aproximadamente. Por todas estas razones y por nuestra latitud geográfica nuestro clima es considerado tropical; también puede denominarse como cálido y lluvioso o tropical estacionalmente húmedo (Gutiérrez y Rivero, 1997).

#### **I.4 Vegetación**

En cuanto a la Regionalización Geobotánica, el área se encuentra enclavada en el denominado Distrito Central en el Sector 2, que caracteriza a la Región Mayabeque – Matanzas. Se alternan áreas boscosas en las llanuras con vegetación de cultivos y abundante Reystone en las partes bajas. La mayoría del territorio se caracteriza por ríos y lagunas con vegetación de cultivos, plantaciones, siembra, huertos y pastos artificiales con un sector de vegetación de espontáneos árboles y arbustos, especialmente Marabú y Aromas. Tiene también una zona definida de vegetación de costas marinas con Cuabillas de costa suriana marítima, incienso de playa a veces con tunas en las costas de arrecifes o Uvas Caletas, en las playas arenosas. La región donde están enmarcadas las localidades de estudio posee varias formaciones Vegetales como pastos con focos de cultivos, sabanas naturales y vegetación secundaria (Labori y Rensoli, 2006).

#### **I.5 Fauna**

La parte norte de Mayabeque - Matanzas se destaca por varias comunidades faunísticas terrestres tales como fauna xerófila de costas, hormigas, reptiles, mariposas, murciélagos y aves endémicas como el totí, gavilán, arriero entre otros. Existe una barrera coralina, rica en variedades de especies marinas. Están presentes también cavernas que sirven de refugio a muchas especies de quirópteros y a las aves. En la desembocadura de muchos ríos incluso de aquellos que desembocan en la costa norte, podemos encontrar uno de los representantes más singulares de la fauna vertebrada de Cuba, el manatí (Gutiérrez y Rivero, 1997).

## **I.6 Red hidrográfica**

Cerca al área de estudio se observa una red hidrográfica moderada, la mayoría de los ríos corren desde el Sur al Norte los cuales desembocan en la costa, tales son:

- ✓ Río Jibacoa.
- ✓ Río Bacunayagua.

La evaporación media anual del área se encuentra entre 1800mm y 2200mm, la densidad de la red fluvial entre  $0,25\text{km.km}^{-2}$  y  $1,00\text{ km.km}^{-2}$ , el componente superficial del escurrimiento fluvial entre 100mm- 600mm y el índice de utilización de los recursos hídricos entre  $2000\text{ m}^3$  y  $3000\text{ m}^3$  aproximadamente (Labori y Rensoli, 2006).

## **I.7 Características económicas**

Desde el punto de vista industrial el municipio de Santa Cruz del Norte se encuentra dentro de los principales productores de energía eléctrica, petróleo y gas natural en el país, por lo que se puede decir que su principal renglón minero es la explotación de hidrocarburos y sus agregados. También existen otras ramas económicas importantes en la región como la agricultura, ganadería, producción de arcilla para ladrillos, materiales de construcción, materias primas de yeso, anhidrita y poca arena cuarcífera. Un sector importante en el municipio es la producción de bebidas y refrescos a gran escala.

Aprovechando la existencia de una buena red de viales, conformada por carreteras de primer orden que enlazan Ciudad de La Habana con Matanzas (Vía Blanca), así como una red de segundo Orden y una red de caminos secundarios, se ha creado un fuerte desarrollo turístico, el cual está representado, principalmente, por las bases de campismo del litoral Este de La Habana, el centro turístico enclavado en la playa Jibacoa, entre otros, han permitido incrementar los puestos de trabajo para los habitantes de las zonas cercanas a los mismos. En estas instalaciones turísticas se reciben, anualmente, más de 500 000 turistas nacionales e incluso internacionales. Los servicios de distintos tipos: comercio, gastronomía, transporte y otros, completan el cuadro de las actividades más importante del municipio desde el punto de vista económico (Labori y Rensoli, 2006).

## **CAPÍTULO II. HISTORIA DE LAS INVESTIGACIONES ANTERIORES**

El sector petrolero de Canasí se enmarca dentro de la franja norte de crudos pesados de Cuba, en zona limítrofe entre las provincias de Mayabeque y Matanzas. La constitución geológica de su subsuelo comienza a ser revelada en el año 1999, cuando es perforado el pozo Canasí-1, posteriormente, se sucedieron una serie de perforaciones que culminaron con el pozo Canasí-100, a finales del 2007. El conocimiento geológico de esta área está sin dudas ligado a trabajos que se han ejecutado desde hace más de 200 años en el archipiélago cubano. Por esta razón es ineludible referirnos a la estratigrafía del sector Habana-Matanzas sin antes hacer referencia a notables informes ejecutados por científicos y naturalistas de Cuba y otros países, que con diferentes propósitos han contribuido con la evolución de este conocimiento. Entre los más destacados se encuentran Alejandro de Humbolt, Descourtiz, E. Galeotti, Ramón de la Sagra, José García de Arboleda, Manuel Fernández de Castro, M. Cotteau, L. G. Huntley, De Golyer, R. E. Dickerson, R. H. Palmer, A. Thiadens, J. Brodermann, P. J. Bermúdez, T. F. Grimsdale, R. H. Palmer, P. Bronnimann, P. Truitt, M. T. Kozary, G. Pardo, C. W. Hatten, Meyerhof, Ch. Ducloz, D. Rigassi, M. A. Iturralde, E. Linares, V. Stepanchenko, Y. M. Malinovsky, J. F. de Albear, G. Furrázola, J. L. Cobiella, R. Segura, G. Millán, K. Piotrowska, I. Kantchev, V. Kusnetzov, Judoley, W. Marsall, A. Pszczólkowski, J. R. Sánchez, R. García, S. Valladares y J. Álvarez.

Dichos trabajos pueden dividirse en 4 etapas:

1. Etapa 1800 – 1900.
2. Etapa 1900 – 1959.
3. Etapa 1959 – 1990.
4. Etapa 1990 – Actual.

### **II.1 Etapa 1800 – 1900**

Desde el descubrimiento de nuestro Archipiélago en el siglo XV comenzaron a realizarse algunos estudios geológicos destinados a encontrar menas auríferas, blanco fundamental de los colonizadores. No obstante, apenas se tienen testimonios escritos en la actualidad de estos rudimentarios trabajos de prospección. No siendo hasta principios del siglo XIX que el célebre naturalista alemán Alejandro de Humbolt distingue unidades litoestratigráficas en sus reportes “Noticia mineralógica del cerco de

Guanabacoa ", de 1804 y " Viaje a las regiones equinocciales del nuevo continente ", de 1826. Es el varón De Humbolt quien oficialmente nombró la Formación Güines, aún vigente en la nomenclatura geológica cubana. Otros numerosos trabajos geológicos se llevaron a cabo durante esta etapa, pero los reportes apenas se conservan en la actualidad, siendo más bien conocidos por las referencias de autores posteriores. La mayoría de estos trabajos estaban enfocados a la prospección de minerales útiles, careciendo de mapas y esquemas geológicos, enfatizando más bien en resultados paleontológicos.

La prospección de hidrocarburos en esta etapa apenas se ejecutó, más bien comenzaron a localizarse en la parte centro occidental de la isla numerosas menas de asfalto que a la postre nutrirían la demanda norteamericana de este producto. Es de destacar en esta etapa la perforación, en 1881, del primer pozo petrolero en Cuba: San Juan, en el área de Motembo, oeste de la provincia de Villa Clara. Este se perforó utilizando el sistema de percusión por cable, por lo que sólo alcanzó unos pocos cientos de metros en el subsuelo, siendo descubridor de hidrocarburos muy ligeros en rocas serpentíticas, algo que motivó a los geólogos foráneos. De esta manera comenzaba la exploración petrolera en Cuba, y a finales del siglo XIX ya se organizaban expediciones de prestigiosos geólogos norteamericanos a la isla.

## **II.2 Etapa 1900 – 1959**

Este es un período sumamente importante por la cantidad de trabajos geológicos que se acometieron no sólo en el área Habana – Matanzas, sino en todo el territorio cubano. Comenzó, a principios de siglo, una serie de campañas geológicas de reconocimiento por parte de geólogos norteamericanos y algunos cubanos. Ya para esta etapa existían antecedentes de presencia de hidrocarburos en el país, no sólo en forma de menas asfálticas, sino también entrampados en el subsuelo. Con el descubrimiento y desarrollo del motor de combustión interna, el petróleo comenzó a ser un atractivo de búsqueda por parte de las potencias de la época. De esta manera, las menas de asfalto empezaron a explotarse principalmente en el occidente y centro del país. Se estima que más de 4 millones de toneladas de asfalto se emplearon entre 1920-1940 para asfaltar calles de la ciudad de Nueva York.

Numerosos fueron los criterios de búsqueda que en aquel entonces imperaron en Cuba, siendo las ofiolitas el escenario más explorado. Sin embargo, muchos geólogos

prestigiosos, incluyendo al norteamericano De Golyer, sostenían que por la gran cantidad de escurrimientos superficiales de petróleo que existían, era muy poco probable encontrar yacimientos en el subsuelo. Años más tarde este connotado científico fue uno de los descubridores de enormes campos petroleros en territorio mexicano. Comenzaron así a concebirse una serie de documentos y reportes técnicos sobre la Geología de Cuba que aún en la actualidad tienen una vigencia significativa. Desde principios de siglo el geólogo norteamericano Huntley (1916), introdujo la idea de sobrecorrimentos en rocas serpentínicas, hecho que posteriormente se ajustó a la definición del orógeno cubano como un cinturón plegado y cabalgado. Es en esta etapa donde se identifican y nombran grandes unidades geológicas tanto en superficie como en el subsuelo, surgiendo así las denominaciones de formaciones de interés petrolero como Veloz, Carmita, Amaro, entre otras. Los nombres de renombrados geólogos norteamericanos como R. H. Palmer, P. Truitt, P. Bronnimann y C. W. Hatten, son referencias clásicas de la época.

Obras de mucho valor en esta etapa fueron “The Geology of Habana, Cuba and vicinity”, de R. H. Palmer, 1934, donde se presentó una columna estratigráfica generalizada de la provincia Habana, con un estudio detallado del Cretácico Superior, reportando por primera vez los depósitos del Maastrichtiano. Reconoce estructuras geológicas importantes como el “anticlinal Habana-Matanzas” y el “anticlinal Madruga”, separados por el “sinclinal Almendares-San Juan”. En el año 1940, J. Brodermann y Pedro J. Bermúdez dieron a conocer la “Contribución al Mapa geológico de la provincia de la Habana”, donde se realiza un detallado estudio estratigráfico de la región de la Habana y ciudad de La Habana. Describieron las estructuras “Anticlinal Habana-Matanzas”; Anticlinal Bejucal-Madruga y sinclinal Almendares-San Juan. El mapa geológico que presentaron fue muy primitivo y su valor fundamental fue estratigráfico y paleontológico. Fue en la década del ‘40 cuando se perfora el pozo Hammel en la provincia de Matanzas, este reveló la presencia de hidrocarburos pesados en carbonatos fracturados, de ese modo este tipo de rocas comenzó a ser otro blanco exploratorio.

Los trabajos más numerosos en los años ‘50 fueron los reportes paleontológicos realizados por Bronnimann, Borran, Dickerson, etc. El informe más completo fue el de M.T. Kozary y P. Bronnimann, 1955; aunque con el inconveniente de que nombraron numerosas unidades. El mapa geológico al que se tuvo acceso, desafortunadamente, fue una copia inadecuada que no poseía la identificación de las unidades.

En el año 1957, Ch. Hatten, P. Norton y A. Meyerhoff en su informe “Geology and Paleontology of Mina Margot”, ofrecieron un serio estudio paleontológico de las calizas interestratificadas con los sedimentos vulcanógeno-sedimentarios que se encuentran en contacto con las serpentinas, asignándoles una edad Albiano-Cenomaniano y afirmando su posición alóctona sobre las serpentinitas. Se consideró de origen hidrotermal a la mineralización pirítica de la zona de contacto de las calizas con los basaltos. A finales de esta época la mayoría de los geólogos que operaban en Cuba ya aceptaban la aloctonía de muchas unidades geológicas, sin embargo, el modelo geológico cubano aún carecía de esquemas explicativos de su naturaleza.

### **II.3 Etapa 1959 – 1990**

Esta es una etapa decisiva en el conocimiento geológico de la zona Habana – Matanzas. Si en los años anteriores los trabajos de geólogos norteamericanos y cubanos aportaron una valiosa contribución, en esta nueva etapa muchos geocientíficos, mayormente del campo socialista, continuaron enriqueciendo los estudios de superficie y subsuelo. A partir de los años '50 ya se aceptaba en Cuba la hipótesis de la Nueva Tectónica Global, pero aún no se tenía un modelo ideal del orógeno cubano como un cinturón plegado y cabalgado. De esta manera muchos especialistas soviéticos, húngaros, checos, rumanos y búlgaros, ya tenían una concepción movilista de algunas relaciones tectónicas que se encontraban en el campo entre unidades geológicas, en cambio otros, aún mantenían posiciones fijistas y no aceptaban los sobrecorrimientos de masas de rocas sobre otras. Incluso algunos de ellos adoptaban la teoría de las molasas, mediante la cual explicaban la presencia de sedimentos más jóvenes debajo de unidades más antiguas, alegando el carácter fragmentario de estos cuerpos. Esta teoría lógicamente aportaba criterios que iban en detrimento de las reservas de hidrocarburos (ya demostradas) que podían existir en el subsuelo. Otros geólogos del bloque socialista, sin embargo, ya aceptaban el movilismo explícito en la tectónica de placas, aceptando los cabalgamientos y la existencia de estructuras plicativas en el subsuelo.

Entre los aportes más significativos de la década del '60 pudiéramos citar la descripción, por primera vez, de la Fm. San Adrián por Ch. Ducloz, 1956 y 1960, en su reporte “Apuntes sobre el yeso del valle de Yumuri”, describiendo los componentes de las brechas y datando el yeso, basándose en la edad de los fragmentos más antiguos,

como Jurásico Medio a Superior o más antiguo. En el año 1963 se dieron a conocer varios trabajos importantes, uno de los más importantes lo constituye el de Alfredo de la Torre describiendo la Fm. Canímar (con sus Capas de Gypsina) y a la Fm. El Abra como facies de esta misma unidad, asignándoles una edad Mioceno Medio. Describe a la Fm. Matanzas, situando estratigráficamente sobre ella a la Fm. Jaimanitas del Holoceno. Uno de los trabajos más detallados desde el punto de vista litoestratigráfico es el de P. Bronnimann y D. Rigassi, 1963, geólogos norteamericanos que se mantuvieron trabajando en Cuba después del triunfo de la Revolución en 1959. En él se hace un estudio paleontológico completo de muchas unidades del área Habana – Matanzas, así como sus relaciones con las unidades infra y suprayacentes.

En el año 1969, M. Iturralde-Vinent en “Estudio del Neógeno en la provincia de Matanzas” hizo un detallado estudio facial y fosilífero de las unidades del Neógeno, construyendo una columna estratigráfica muy precisa, aunque las edades de algunas de las unidades, tales como Cojímar y Güines, resultaron inexactas. Separó las “capas de Gypsina”, manteniéndolas como una unidad informal.

Desde principios de los años '70 ya se perforaban pozos petroleros en zonas que a la postre se convertirían en las más importantes del país, ejemplo de ello lo constituyen los campos de Boca de Jaruco, Vía Blanca y Varadero. La mayoría de estas perforaciones, debido al desconocimiento del modelo geológico del subsuelo, eran verticales y no aportaban mucho más de algunos cientos de barriles de petróleo por día, volúmenes que en esa época eran importantes pero que no representaban nada en comparación con la cantidad importada por el país. Los especialistas del campo socialista, seguidores en su mayoría de la teoría de la destrucción de las trampas petroleras evidenciada por los escurrimientos superficiales de petróleo, se hicieron partícipes de los escenarios en los cayos al norte de Cuba, perforando pozos profundos en la cayería Norte de Matanzas, Villa Clara y Ciego de Ávila. Algunas de estas perforaciones tuvieron manifestaciones de petróleo, pero ninguno fue productor de hidrocarburos.

En el año 1971, en “Informe geológico sobre las investigaciones de campo en la región Habana-Matanzas, de E. Linares y otros, se hace un detallado estudio estratigráfico, profundizando en las descripciones litológicas e incluyendo listados fosilíferos de las unidades cronoestratigráficas que cartografiaron. Se diferenciaron las zonas estructuro-faciales y describieron los depósitos de cada una. Incluyeron unidades de pozos, correlacionándolas con las que afloran. Además se destacaron las estructuras

tectónicas principales.

Muchos fueron los trabajos ejecutados en esta época, como el de Y. M. Malinovsky, R. Segura y E. Fonseca (1974), basado en pozos profundos, aquí se separaron los cortes estratigráficos por complejos: complejo geosinclinal, complejo molásico y complejo subplatafórmico. Ellos presentaron varios esquemas de correlación de pozos y una columna estratigráfica bastante detallada, aunque utilizando la nomenclatura rusa, lo que hace de este trabajo poco práctico para el mapeo.

En el año 1977 se terminó el levantamiento geológico de las provincias de La Habana y ciudad de La Habana, de J. F. de Albear e Iturralde-Vinent, a escala 1:250 000, aunque la base de trabajo fue a escala 1:50 000 y 1:100 000. Aquí se tuvieron en cuenta los principales trabajos realizados con anterioridad, incorporando una abundante información paleontológica y estratigráfica que posibilitó la confección de una columna estratigráfica basada en las zonas estructuro faciales: leptogeosinclinal autóctono y parautoctono, eugeosinclinal alóctono y su cobertura sinorogénica, y cobertura platafórmica. Caracterizaron por separado las columnas estratigráficas de cada zona. Este trabajo incluye diferentes tipos de mapas: geológico, hidrogeológico, ingeniero-geológico, de yacimientos minerales, geomorfológico, de los depósitos cuaternarios, etc.

D. García Delgado, 1979, en su trabajo de diploma cartografió los depósitos de la Fm. Vía Blanca situados discordantemente sobre las rocas de la Fm. Chirino de composición vulcanógena. Transgresivamente sobre esta última situó las formaciones del Neógeno, demostrando la existencia de movimientos verticales intensos en el abra del río Yumurí, que provocaron levantamientos de bloques que imprimieron una yacencia bastante abrupta para las formaciones de esta edad.

En el año 1981 se concluyó el levantamiento geológico a escala 1:250 000 de la provincia de Matanzas por un colectivo de geólogos polacos y cubanos encabezado por K. Piotrowska. Estos autores ejecutaron un trabajo detallado con mapas bases a escala 1:50 000 y 1:100 000. Confeccionaron una zonación estructuro-tectónica actualizada, extendiendo las zonas descritas por I. Kantchev y otros, 1976, para Cuba Central, hacia la parte occidental de Matanzas. Los estudios estratigráficos y paleontológicos son detallados, nombrándose nuevas unidades. Dividieron la región en tres zonas con diferentes direcciones estructurales y estilos tectónicos.

Del año 1985 es el informe de G. Furrázola-Bermúdez y otros, donde se llevó a cabo

un detallado estudio paleontológico y estratigráfico, teniendo en cuenta principalmente los cortes de los pozos profundos perforados en la región. Son interesantes las correlaciones de pozos por regiones, donde se puede observar las complejas interrelaciones entre los diferentes horizontes rocosos, destacándose la superposición de escamas tectónicas. Se presenta una subdivisión en zonas estructuro-faciales. Correlacionaron estos horizontes litológicos con unidades de la misma edad y similar composición litológica, con el inconveniente de que esta correlación se realizó con las formaciones de Pinar del Río y no con las de Cuba Central, que por su cercanía y relaciones estructurales son más adecuadas. Por este motivo las unidades geológicas perforadas en el subsuelo del campo de Varadero recibían los nombres de Artemisa, Sumidero, etc.

En 1986 se realizó un levantamiento geológico a escala 1:20 000 por E. Linares y otros, en la zona de Cantel-Camarioca, donde son detalladamente cartografiadas las unidades Jurásico-Cretácicas alóctonas del paleomargen continental, destacándose la estratigrafía, composición litológica y asociación fosilífera de las unidades mapeadas.

Durante toda esta etapa se perforaron numerosos pozos petroleros en toda la costa Norte cubana, generándose un caudal de información muy valiosa. Gran parte de ellos eran verticales o ligeramente desviados. Es de destacar la cantidad de testigos de perforación de la mayoría de estos pozos, los que permitieron hacer estudios posteriores de más detalle. Muchos de estos testigos o núcleos se conservan en la actualidad y constituyen patrimonio de la actividad petrolera cubana.

#### **II.4 Etapa 1990 – actual**

El comienzo de esta etapa estuvo marcado por la crisis económica de los '90, hecho que provocó un receso brusco en las actividades geológicas, tanto campañas de superficie como perforación de pozos. Por este motivo el gobierno cubano abrió muchos sectores de la economía a la inversión extranjera. De esta manera llegaron al país varias compañías extranjeras interesadas en la exploración de petróleo, básicamente de países europeos y Canadá. Ejemplo de ellas son la Total (Francia), Genoil (Canadá), Petrobras (Brasil), Pebercan (Canadá), Schlumberger (Francia-Canadá), Petrovietnam (Vietnam), Sherritt (Canadá), entre otras muchas. De ellas la que más acierto tuvo en los trabajos exploratorios fue la compañía Sherritt de Canadá,

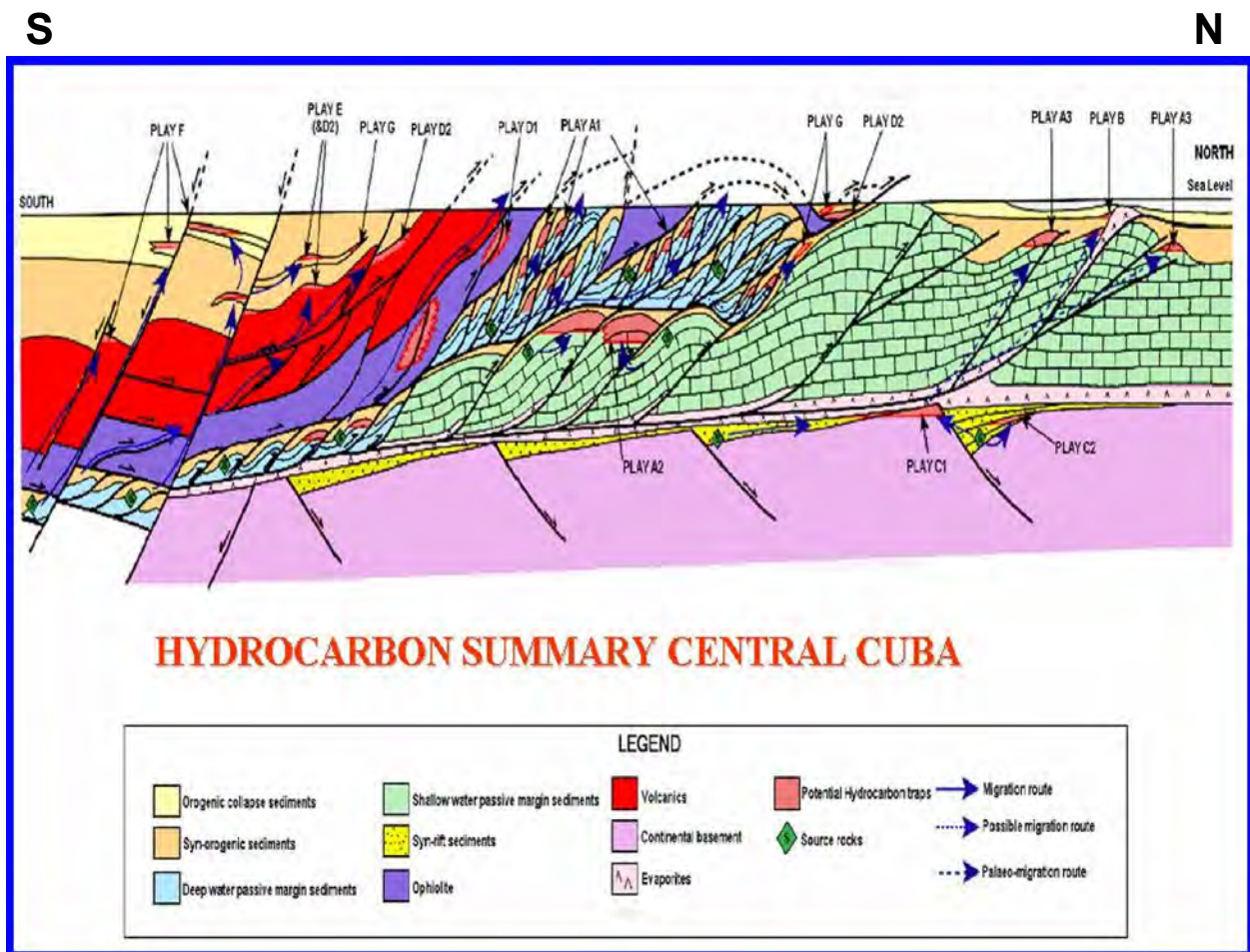


Figura II.1 Perfil esquemático del subsuelo cubano.

la que aún en la actualidad extrae un volumen considerable de crudo en la zona Habana – Matanzas.

Varios fueron los informes técnicos que se generaron en esta etapa, muchos de ellos sin publicar. Existen dos que vale la pena recalcar: " Potencial de Hidrocarburos de la República de Cuba ", del año 1995, de Juan G. López y otros; y " Reservorios Carbonatados de Cuba " de Silvia Valladares y otros, del año 1997. En el primero se da una generalización tectónica, estratigráfica y geoquímica de gran envergadura, se ideó por vez primera, en conjunto con el Instituto Francés del Petróleo (IFP) y la empresa inglesa Simon Petroleum Technology (SPT), un perfil esquemático del subsuelo cubano, enmarcando los principales escenarios para la búsqueda de hidrocarburos (Figura II.1). En el segundo informe se recogen aspectos geológicos, estratigráficos y sedimentológicos de los reservorios carbonatados y su vinculación con unidades tectono-estratigráficas (UTE).

A partir del conocimiento logrado en etapas anteriores, así como la mejor concepción

del orógeno cubano como un cinturón plegado y cabalgado, y del estudio en subsuelo y superficie de patrones de fracturas y morfología de las trampas petroleras, se proyecta en el año 1997 el primer pozo de terminación horizontal: Puerto Escondido – 5. Los resultados productivos fueron excelentes. En zonas donde existían perforaciones verticales, como Puerto Escondido, Yumurí, Boca de Jaruco y Varadero, se comenzaron a perforar pozos de alcance extendido, con terminación horizontal o altamente inclinada. Las producciones en los pozos verticales eran, como promedio, entre 10-50 m<sup>3</sup>/día, mientras que en los pozos horizontales eran de 100-500 m<sup>3</sup>/día. A partir de ese entonces todos los pozos que se enclavan en la franja norte cubana de crudos pesados tienen estas características.

El área de Canasí, objeto del presente estudio, cuenta con numerosos pozos, todos perforados por la compañía Sherritt Oil&Gas. En la (tabla II.1) se resume la fecha de culminación de cada uno de ellos y la profundidad alcanzada.

**Tabla II.1 Pozos perforados en el área Canasí y fecha de culminación.**

<b>POZO</b>	<b>TÉRMINO DE PERFORACIÓN</b>	<b>PROFUNDIDAD (m) LARGO INSTRUMENTO /</b>
Canasí – 1	Enero – 1999	2557 / 1345
Canasí – 2	Junio – 1999	2832 / 1333
Canasí – 3	Abril – 2001	3650 / 1314
Canasí – 4	Septiembre – 2001	3760 / 1328
Canasí – 5	Diciembre – 2001	3705 / 1322
Canasí – 6	Mayo – 2002	3702 / 1319
Canasí – 7	Julio – 2002	3645 / 1319
Canasí – 8	Septiembre – 2002	2860 / 1318
Canasí – 13W	Febrero – 2003	3055 / 1315
Canasí – 9	Marzo – 2003	3570 / 1371
Canasí – 14	Junio – 2003	3640 / 1602
Canasí – 10	Septiembre – 2006	3250 / 1448
Canasí – 100	Noviembre – 2007	5090 / 2392

### **Trabajos geofísicos realizados en el área**

En Habana – Matanzas se han realizado numerosos trabajos geofísicos, algunos con fines de prospección de minerales metálicos, para estudiar recursos hídricos y en la exploración gasopetrolífera. Dentro de la zona de Canasí estos trabajos se limitan a campañas sísmicas que se han ejecutado con fines puramente petroleros, para contornear estructuras en el subsuelo favorables para la acumulación de petróleo.

Dentro de los levantamientos gravimétricos que se han acercado a la zona de Canasí se encuentran los realizados por V. Egorov, V. Arjipov y otros, a escala 1: 100 000 con sección de 1 mGal, en el período 1968 – 1970. A partir de estos trabajos se confeccionaron mapas del campo gravimétrico, donde fueron delimitadas, por primera vez, toda una serie de anomalías gravimétricas que caracterizan las estructuras profundas.

## **CAPÍTULO III. GEOLOGÍA REGIONAL DEL SECTOR CANASÍ. FRANJA NORTE DE CRUDOS PESADOS DE CUBA**

### **III.1 Breve conocimiento geológico de la región**

La caracterización de la evolución geológica de la región Habana-Matanzas fue dividida en las tres etapas propias del desarrollo geológico-tectónico del territorio cubano: preorogénica, orogénica y postorogénica. En cada una de esas etapas se desarrollaron complejos litológicos bien definidos.

Los complejos de la etapa preorogénica expuestos en este territorio se formaron en dos paleoregiones muy diferentes (Iturralde-Vinent, 1996). La primera es una paleoregión meridional, de carácter oceánico, en la cual fueron generados dos complejos bien aflorados en el territorio: el complejo ofiolítico con sus diferentes horizontes y el arco volcánico cretácico. La segunda paleoregión es de carácter continental y forma parte del paleomargen continental de las Bahamas, representado por las zonas Placetas y Camajuaní, expuestas principalmente en la parte nororiental de territorio.

La etapa orogénica abarca un intervalo de tiempo entre el Campaniano y el Eoceno Inferior a Medio, ocurriendo durante la misma dos fases tectónicas relacionadas con diferentes procesos geológicos (Millán y otros, 1998).

Durante la primera fase tectónica, ocurrida en la parte alta del Cretácico Superior por un evento aún indefinido, tuvo lugar la extinción del arco volcánico y su yuxtaposición con las ofiolitas, deformándose y desmembrándose ambos complejos de forma conjunta, sobrecorriendo, en sentido general, las vulcanitas a las ofiolitas. Aquí tuvo lugar el depósito de un complejo orogénico terrígeno-flyschoides (Fm. Vía Blanca), que también fue deformado durante este tectonismo (Albear e Iturralde-Vinent, 1982; Piotrowska, 1986). Esta primera fase tectónica dio lugar a la consolidación de una paleoestructura oceánica meridional.

Al final de esta fase ocurrió un evento de carácter catastrófico correspondiente al límite Cretácico-Terciario, relacionado con la formación de gigantescas olas que causaron la destrucción de los márgenes continentales tanto de Yucatán como de las Bahamas (Pszczolkowski, A., 1986, Iturralde-Vinent y otros, 2000, Takayama y otros, 2000) dando lugar a la formación de megaturbiditas calcáreas, tanto sobre el Margen continental (formaciones Cacarajícara y Amaro) como del Arco volcánico y las ofiolitas (Fm. Peñalver). Es necesario señalar que algunos estratígrafos cubanos, aunque admiten la teoría del impacto del meteorito de Chixulub a finales del Cretácico,

proponen alternativas no catastróficas para la formación de las unidades fragmentarias de Amaro y Cacarajícara (J. Sánchez, 2011).

La segunda fase tectónica de la etapa orogénica se debió a la colisión oblicua de la paleoestructura oceánica, durante su movimiento hacia el Noreste, con el paleomargen continental de las Bahamas. Este evento tectónico tuvo lugar entre el Paleoceno Superior y el Eoceno Medio, dando lugar a la generación de las cuencas de antepaís y de Piggy back.

Las cuencas de antepaís se formaron sobre el Margen continental y comprenden depósitos olistostrómicos sobre la zona Placetas (formación Vega Alta) y depósitos fragmentario-carbonatados sobre la Zona Camajuaní (Formación Vega). Estas unidades tienen una edad Paleoceno Inferior-Eoceno Medio.

Las cuencas pasivas transportadas comenzaron su desarrollo luego de finalizar la primera fase de la etapa, antes de la colisión del arco volcánico y las ofiolitas con el paleomargen de las Bahamas, estas se depositaron sobre la paleoestructura oceánica consolidada y esta compuesta por las formaciones que presentan edades comprendidas entre el Paleoceno Inferior y el Eoceno Inferior parte baja (Mercedes, Madruga, Apolo y Capdevila).

El complejo preorogénico que constituye a la secuencia de la zona Placetas, junto con depósitos campaniano-maastrichtianos relacionados con la primera fase tectónica (fms. Amaro y Bacunayagua), así como la secuencia orogénica de cuenca frontal de colisión (Fm. Vega Alta), aflora en diferentes localidades mezclados con los cortes de la paleoestructura oceánica e incluso con los depósitos de cuenca pasiva transportada (Albear e Iturralde-Vinent, 1982).

Este conjunto rocoso preorogénico y orogénico relacionado con la zona Placetas del paleomargen continental, aparece cortado por numerosos pozos petroleros por debajo de las ofiolitas, vulcanitas y la Fm. Vía Blanca. El mismo siempre aparece muy escamado y deformado, a veces caóticamente, formando múltiples escamas tectónicas, donde la secuencia de la zona Placetas y las formaciones Amaro (en ocasiones también Bacunayagua) y Vega Alta aparecen deformadas e imbricadas unas con otras. Esto quedó bien demostrado durante el estudio del corte geológico de los pozos petroleros. Cabe señalar, que en la parte norcentral del territorio, en los pozos petroleros más septentrionales, debajo de las escamas de la secuencia de la zona Placetas (imbricadas con escamas de las formaciones Amaro y Vega Alta) se perforaron las escamas de la secuencia de la zona Camajuaní, donde también se

destacan escamas imbricadas de la Fm. Lutgarda (primera fase tectónica de la etapa orogénica) y de la Fm. Vega (cuenca frontal de colisión) (Valladares y otros, 1997).

La presencia del complejo de cuenca frontal de colisión (Fm. Vega Alta) deformado conjuntamente con la secuencia de la zona Placetas e imbricado en diferentes escamas tectónicas, indica que el sobrecorrimento de la paleoestructura oceánica sobre el paleomargen continental de las Bahamas ocurrió simultáneamente con la generación de las cuencas frontales de colisión y el depósito de las formaciones Vega Alta (Placetas) y Vega (Camajuaní), pero no anteriormente, tal como había señalado Piotrowska (1986) .

La etapa postorogénica o neoplatafórmica se caracterizó por el depósito de una cobertura carbonatada (Iturralde-Vinent, 1977; Albear e Iturralde-Vinent, 1983), la cual comenzó aquí a partir del Eoceno Inferior parte alta. Durante la deposición de las secuencias de la neoplataforma tuvo lugar una actividad tectónica relacionada con la intensificación de los movimientos oscilatorios que caracterizaron el desarrollo de esta etapa (Iturralde-Vinent, 1977). Este tectonismo ocasionó un desmembramiento de la región, con un intenso agrietamiento y fallamiento (incluyendo varias fallas de gran extensión y carácter profundo), formándose diferentes bloques y estructuras levantadas donde se exponen los complejos rocosos preorogénicos y orogénicos como es el caso del Anticlinal Habana – Matanzas al cual pertenece nuestra área de estudio.

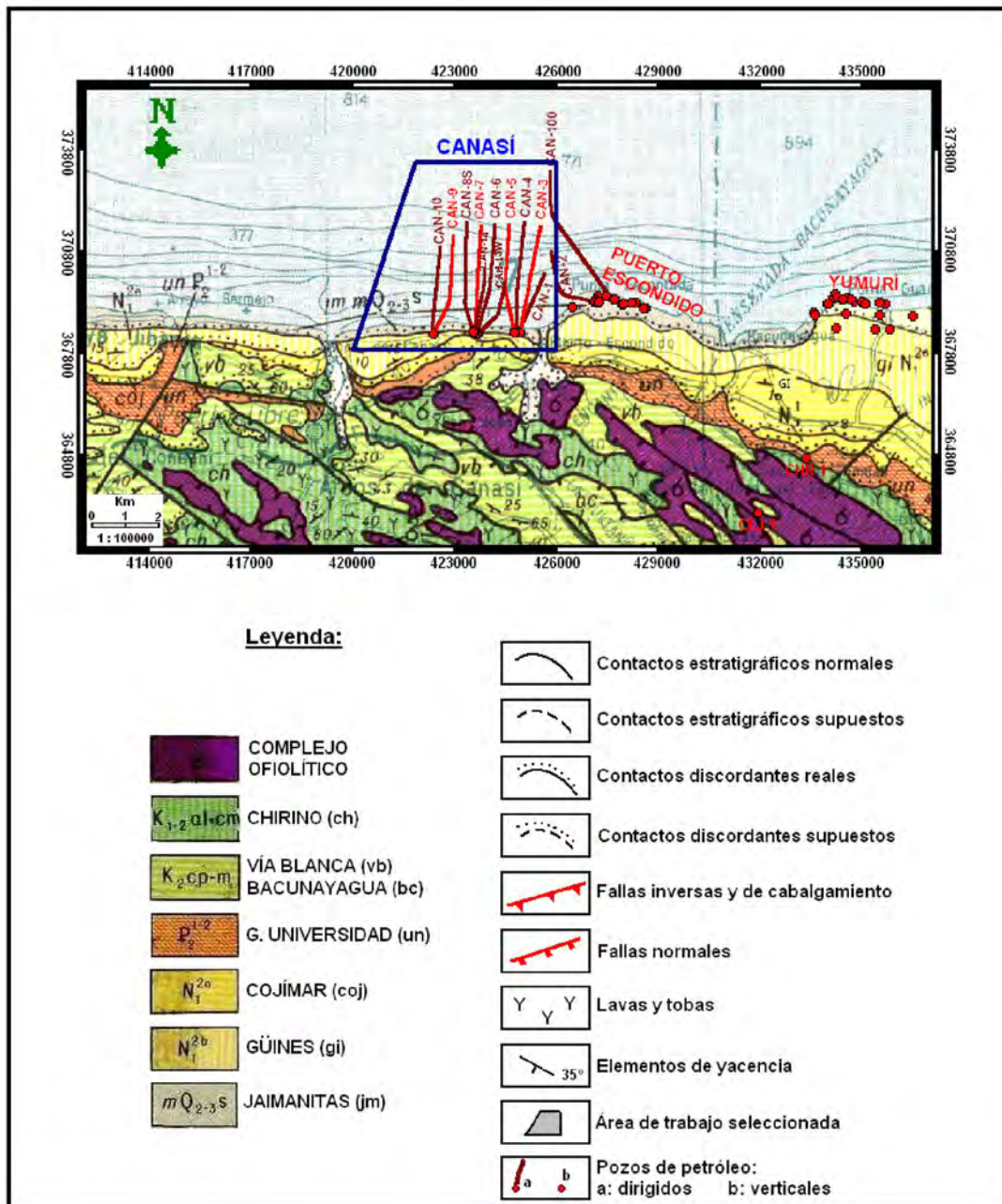


Figura III.1 Mapa Geológico del Norte de las provincias de Mayabeque y Matanzas.

### III.2 Estratigrafía del área de estudio

La región de Habana-Matanzas, debido a la considerable complejidad tectónica que manifiesta, presenta una gran variedad de tipos litológicos, lo que ha permitido diferenciar las diferentes unidades litoestratigráficas. En este capítulo se relacionan las unidades geológicas que afloran en las cercanías del área Canasí y que pudieran encontrarse en el subsuelo a estudiar. En su constitución geológica convergen

elementos de diferentes orígenes y características los cuales pueden ser separados en tres etapas fundamentales del desarrollo geológico-tectónico del territorio cubano:

- **Etapla preorogénica:** abarca los complejos de plataforma, margen continental, arco volcánico cretácico y las ofiolitas.
- **Etapla orogénica o sinorogénica:** incluye los depósitos de la primera y segunda fase tectónica así como las cuencas superpuestas o de Piggy back.
- **Etapla postogénica:** se encuentran los depósitos de la cobertura neoplatafórmica.

El área de estudio está constituida por complejos litológicos que forman parte de estas 3 etapas los cuales se mostraran a continuación.

### **III.2.1 Etapla preorogénica**

#### Paleomargen Continental

El paleomargen se encuentra presente en el subsuelo del Anticlinal Habana – Matanzas, está constituido por las siguientes unidades litoestratigráficas: Grupo Veloz y la formación Carmita.

#### ❖ Grupo Veloz (vz)

Descrito originalmente por C.W. Hatten en; C.W. Hatten et al., 1958 y redescrita por Sánchez Arango et al., 1993: Simón Petroleum Technology; en un rango estratigráfico superior agrupando a las formaciones Cifuentes, Ronda, Jobosí y Morena. Se desarrolla en forma de franjas en la parte norte de las provincias de Matanzas, Villa Clara, Sancti Spíritus y Camagüey apareciendo comúnmente en los cortes del subsuelo en los pozos ubicados en el área de estudio. Está representado por un corte carbonático ligeramente arcilloso donde se alternan micritas, biomicritas, arcilla-argilita poco calcárea. Yace concordantemente sobre las formaciones Constancia. Está cubierta transgresivamente por las formaciones Amaro, Arabos, Carmita, Peñón, Santa Teresa, Tinguaro, el Mbro. Cárdenas (Fm. Bellamar) y la unidad informal olistostroma Vega Alta. Se depositó en un ambiente batial y el espesor oscila entre 600 y 800 m. Su edad es de Jurásico Superior (Kimmeridgiano) – Cretácico Inferior (Barremiano). En la actualidad, para lograr mayor precisión en la estratigrafía del subsuelo, se utiliza la

redescripción de Sánchez Arango, 1993 y que luego se detalla aún más en el tema “Reservorios Carbonatados de Cuba”, S. Valladares, 1996. En estos últimos trabajos, además de subdividirse el Grupo Veloz en Cifuentes (Kimmeridgiano - Tithoniano), Ronda (Berriasiano - Valanginiano), Jobosí (Valanginiano) y Morena (Hauteriviano - Barremiano), se proponen una división aún más detallada en base a biozonas y características de las facies. De esta manera Cifuentes se subdivide en Somero (Kimmeridgiano) y Profundo (Tithoniano), destacando además dos intervalos para el Kimmeridgiano (Cifuentes IV y V) y tres para el Tithoniano (Cifuentes I, II y III).

#### ❖ Formación Carmita (cr)

Descrita originalmente por P. Truitt en: P. Truitt y G. Pardo, 1953. Se desarrolla en forma de franjas alargadas y estrechas en las provincias de Matanzas, Pinar del Río, Villa Clara, Sancti Espíritus y Camagüey. En ella predomina una intercalación irregular de calizas y pedernales en nódulos, que en algunos lugares ambas variedades se pueden intercalar con limolitas, areniscas calcáreas, calizas arenosas, margas y lutitas. Es frecuente la presencia de texturas dendríticas en la superficie de las calizas. Yace concordantemente sobre la Formación Santa Teresa (sólo en sectores ubicados al sur de la FNCP) y discordantemente sobre la Formación Veloz. Está cubierta discordantemente por la Formación Amaro. Se depositó en un ambiente de aguas marinas profundas, presenta un espesor que oscila entre 40 y 200 m, su edad ha sido establecida como Cretácico Superior (Cenomaniano-Turoniano) (Valladares, 1997).

#### Terreno Zaza (Arco Volcánico del Cretácico y Complejo Ofiolítico)

El cinturón ofiolítico septentrional (COS) y el terreno de arco volcánico cretácico (TAVK); constituyen los elementos tectónicos más elevados y alóctonos de la estructura de mantos presentes en Cuba occidental. El TAVK está representado por dos unidades, las formaciones Chirino y La Trampa, siendo la primera la identificada en las cercanías del área de Canasí.

#### Arco Volcánico del Cretácico

#### ❖ Formación Chirino (ch)

Descrita originalmente por C. Ducloz, 1960 y redescrita por J. F. de Albear y M. Iturralde-Vinent en: J. F. de Albear *et al.*, 1977; J. Piotrowski y R. Myczinski en: K. Piotrowska *et al.*, 1981. Se desarrolla en las regiones de Martín Mesa (La Habana), Campo Florido (Ciudad de La Habana), Valle de Yumurí, Cidra, San Miguel de los Baños, Coliseo, Carlos Rojas y Angelita (Matanzas). Se compone de tobas medias y básicas, litoclásticas a vitroclásticas con lavas en forma de sills y diques de andesitas y andesita – basaltos, calizas, areniscas, limolitas, pedernales y tufitas. Estos depósitos están muy tectonizados y se presentan en forma de escamas tectónicas independientes o incluidos dentro de las serpentinitas. Está cubierta discordantemente por las formaciones Caobas, Colón (parte indiferenciada y su Mbro. Coliseo), Jaruco, La Trampa, Nazareno, Paso Real, Peñón, Perla y Vía Blanca. Presenta un espesor mayor de 1000m y su edad abarca del Cretácico Inferior Aptiano – Cretácico Superior Cenomaniano.

### Complejo Ofiolítico

Entre las ofiolitas, conjuntamente con serpentinitas y algún gabroide; afloran rocas volcano - sedimentarias (Iturralde - Vinent, 1996) forman parte de un melange intensamente deformado que incluye escamas arrancadas del margen continental de Las Bahamas (subyacente), así como bloques del arco volcánico cretácico y sedimentos del Campaniano Tardío al Eoceno. Este melange, usualmente desmembrado, yace sobre las rocas del paleomargen continental de Las Bahamas y se cubre por el sur, por mantos tectónicos del arco volcánico cretácico. Es común encontrar olistostromas vinculados a los contactos del melange con las rocas infra y suprayacentes. Los afloramientos de las ofiolitas (con predominio de las rocas ultramáficas) tienen rumbo noreste y son relativamente pequeños, no superan los 20 km de largo por 3 km de ancho (Palmer, 1945; Brönnimann y Rigassi, 1963; Llanes *et al* 1997). Estos cuerpos no son muy potentes, según las perforaciones profundas realizadas cerca de la costa norte no superan los 2Km, en un solo caso alcanzan unos 4Km (Linares *et al*, 1985). El emplazamiento y las deformaciones principales del melange ocurrieron entre el Campaniano Tardío y el Eoceno Medio, de acuerdo a la edad de los olistostromas que se le asocian.

### III.2.2 Etapa orogénica o sinorogénica

Depósitos sinorogénicos situados sobre el arco volcánico cretácico y las ofiolitas correspondiente a la primera fase tectónica.

Sobre el arco volcánico y las ofiolitas reposan discordantes las turbiditas vulcanomícticas de la Formación Vía Blanca.

#### ❖ Formación Vía Blanca (vb)

Descrita originalmente por Brönnimann y D. Rigassi ,1963 y redescrita por J. F. de Albear y M. Iturralde, 1977; K. Piotrowska en: K. Piotrowska *et al.*, 1981; S. Gil en: E. Linares *et al.*, 1985. Se distribuye en las provincias de Pinar del Río, La Habana, Ciudad de La Habana, Matanzas y Villa Clara. En general se trata de una secuencia flyschoides constituida por argilitas, limolitas, areniscas, calcarenitas, conglomerados polimícticos, de matriz de arenisca y arcillo-arenosa, margas, calizas detríticas, arcillas y tufitas. En algunas regiones se desarrollan paquetes olistostrómicos policomponentes. Yace transgresivamente sobre las formaciones Bruja, Chirino, Encrucijada, La Trampa y Orozco. Está cubierta discordantemente por las formaciones Cantabria, Caobas, Cojímar, Colón (parte indiferenciada y su Mb. Coliseo), Guanajay, Nazareno, Paso Real, Peñalver, Punta Brava, Peñón, Perla, Santa María del Rosario y los grupos Mariel (formaciones Capdevila, Madruga y Mercedes) y Universidad (Fm. Toledo). Se depositó en un ambiente inestable, en una cuenca marina de mediana profundidad. Su espesor oscila entre 500 y 800 m. En cuanto a su edad (Díaz-Otero *et al.*, 2001) le asignan una edad de Campaniano Superior-Maastrichtiano Superior tope, a partir de la revisión de los listados faunales de (Brönnimann y Rigassi, 1963), el listado faunal del Léxico Estratigráfico de Cuba y las nuevas determinaciones realizadas a la luz de recientes trabajos relacionados con el límite K-T.

Depósitos sin orogénicos del Cretácico Superior Campaniano - Eoceno Medio Tardío sobre el paleomargen

Los sedimentos depositados durante esta etapa guardan una estrecha relación con los procesos de sobrecorrimento. Aquí se incluyen los correspondientes a la primera fase tectónica Formación Bacunayagua del Cretácico Superior Campaniano, Formación Amaro del Cretácico Superior Maastrichtiano y los originados en cuencas antepaís, Formación Vega Alta del Paleoceno -Eoceno Inferior.

❖ Formación Bacunayagua (bcg)

Identificada por C. Ducloz en ,1960b y redescrita por J. F. de Albear y M. Iturralde-Vinent en: J. F. de Albear *et al.*, 1977. Sólo aflora en la parte noroccidental de la provincia de Matanzas y nororiental de la provincia de La Habana y está constituida por Areniscas, grauvacas y gravelitas arcósicas y conglomerados, de color gris claro hasta negro, con lentes e intercalaciones de arcillas carbonosas. El cemento de estas rocas es arcilloso y carbonático. Los clastos tienen diámetros que oscilan entre algunos mm hasta 10-15cm y su composición es arcósica. Entre los clastos predominan los de mármoles, dioritas, cuarzo, plagioclasa, biotitas, granitos, cuarcitas, areniscas cuarzosas de grano fino, limolitas y silicitas. Las relaciones estratigráficas no han sido establecidas. Se depositó en la zona batial, en una depresión paralela a la zona emergida y su espesor es de 80m aproximadamente. Edad establecida Cretácico Superior (Campaniano).

❖ Formación Amaro (am)

Descrita por H. Wassall en: P. Truitt and G. Pardo en, 1953 y redescrita por N. Iolkicev y Al. Goranov en: Il. Kantchev *et al.*, 1978. Se desarrolla al NE de la provincia de Matanzas y al N de las provincias de Villa Clara, Sancti Spíritus y Camagüey. Está representado por brechas, brecha-conglomerados con fragmentos mal seleccionados de areniscas calcáreas, calizas detríticas, silicitas y arcillas. Cubre discordantemente a las formaciones Carmita, Santa Teresa y Veloz. Con igual carácter está cubierta por las formaciones Arabos, Ranchuelo y el olistostroma Vega Alta. Se depositó en un ambiente de depresión marina de aguas someras, con eventuales ciclos de subsidencia que dieron lugar a sedimentos finos, de aguas más profundas. Su espesor oscila entre 100 y 300 m. y su edad es Cretácico Superior (Maestrichtiano Superior).

❖ Formación Vega Alta (va)

Identificada por L. Dodekova y V. Zlatarski en: Il. Kantchev *et al.*, 1978. Se desarrolla en forma de fajas alargadas en la parte N de las provincias de Sancti Spíritus y Villa Clara aunque también son conocidos buenos afloramientos en la parte oriental de la provincia de Matanzas, ocupando una amplia franja en la región al sur de Corralillo pero no existen afloramientos en el área de estudio. En el subsuelo de los yacimientos

geográficamente ubicados en las zonas litorales de las provincias La Habana y Matanzas, se han encontrado en casi todos los pozos perforados por lo que constituye en toda esta zona el sello regional sobre los horizontes productores, está definida en superficie como un olistostroma policomponente de matriz arcillosa– arenosa que incluye bloques y olistolitos de calizas, brechas carbonatadas, calcarenitas, silicitas, areniscas, serpentinitas y rocas volcánicas. El espesor de esta secuencia generalmente tiende a disminuir de sur a norte, por lo que sus espesores son muy variables (50 a 250 m). Yace erosionalmente sobre las rocas de la Formación Amaro, y tectónicamente sobre las formaciones del Grupo Veloz, según el área. Está cubierta transgresivamente por la Formación Arabos y por depósitos del Cuaternario, aunque en general su límite superior es erosional. El conjunto fosilífero reportado es escaso y el reportado arrojar una edad Paleoceno-Eoceno Medio. Se depositó en un ambiente de aguas marinas someras, observándose en los bordes de la cuenca los depósitos clásticos más gruesos. La fauna pelágica se observa en los depósitos más alejados de la costa el espesor de esta unidad tanto en superficie como en los pozos puede llegar a ser mayor de 200 m. Su edad es Eoceno Inferior- Medio (Brey del Rey *et al*, 2007).

#### Cuencas superpuestas o de Piggy Back

Este tipo de depósitos está representado en el área por el Grupo Mariel (González - García, 1985), que abarca una edad desde el Paleoceno hasta el Eoceno Inferior. En él se distinguen las formaciones Mercedes, Apolo, Madruga y Capdevila. Tiene un buen desarrollo en las provincias de Pinar del Río, Ciudad de La Habana y La Habana, sobre todo la parte superior del grupo identificado como Formación Capdevila.

#### ❖ Formación Capdevila (cp)

Descrita por R. H. Palmer, 1934, sus depósitos tienen un buen desarrollo en las provincias de Pinar del Río, Ciudad de La Habana y La Habana. Esta formación se caracteriza por presentar secuencias siliciclásticas, siendo las rocas de mayor ocurrencia las areniscas polimícticas, conglomerados, lutitas, limolitas, así como por depósitos carbonatados y carbonatados arcillosos compuestos por: margas, calizas biogénicas y calcarenitas. Todo el conjunto yace discordantemente sobre las formaciones Peñalver y Vía Blanca. Está cubierta discordantemente por las

formaciones Cojímar, Consuelo, y Universidad. Se ha de destacar que algunos autores como Cobiella - Reguera *et al.* (2000) consideran a la formación Capdevila como depósitos tipo cuenca frontal y no de cuenca auestas por encontrarse en el área de Cayajabos cubriendo los mantos de cabalgamientos. Este criterio es compartido en el presente trabajo ya que las arcillas de Capdevila yacen discordantemente sobre los mantos de ofiolitas. Esta unidad se depositó en aguas profundas originándose un típico flysch vinculado a movimientos tectónicos periódicos en la fuente de aporte de los sedimentos su espesor oscila entre 200 y 400 m, su edad es de Eoceno Inferior parte baja.

### **III.2.3 Etapa postogénica**

#### Cobertura Neoplatafórmica

Los depósitos neoplatafórmicos se separan en tres pisos estructurales:

- El inferior con edad Eoceno Inferior parte alta al Oligoceno.
- El superior de edad Oligoceno Superior hasta el Plioceno Inferior.
- Del Plioceno hasta el Cuaternario.

Se componen de rocas carbonatadas y fragmentario-carbonatadas y en menor proporción terrígenas.

#### **1. El inferior con edad Eoceno Inferior parte alta al Oligoceno.**

##### **❖ Formación Universidad (un)**

Descrita por J.Bermúdez, 1937 y redescrita por G. Furrázola *et al.*, 1978; J. R. Sánchez, 1979. Se desarrolla al S de la cordillera de Guaniguanico, provincia de Pinar del Río; en las regiones de Cabañas, Mariel, al E de la playa de Jibacoa, provincia de La Habana; Marianao, Vedado, provincia de Ciudad de La Habana, Valle de Yumurí, W de la localidad Chirino y en el tejero Santa Isabel, provincia de Matanzas. Está compuesta por margas, calizas arcillosas, argilitas silíceas, nódulos de pedernales, calizas arcillosas silicificadas, calizas biógenas y en algunos de sus cortes presentan conglomerados basales de fragmentos pequeños de matriz areno-arcillosa polimíctica. La edad de esta unidad es Eoceno Inferior parte alta – Eoceno Medio parte baja. Yace discordantemente sobre las formaciones Chirino, Peñalver y el Grupo Mariel (formaciones Madruga y Capdevila). Está cubierta discordantemente por las

formaciones Cojímar y Consuelo. La formación está dividida por dos miembros: Toledo y Príncipe. El Miembro Toledo (Brödermann, 1940), está compuesto por margas, calizas arcillosas, argilitas silíceas, con nódulos de pedernales, calizas arcillosas silicificadas, a veces totalmente silicificadas en pedernal, areniscas polimícticas con un conglomerado basal de pequeños guijarros y matriz areno- arcillosa. Su edad es Eoceno Inferior parte alta. El Miembro Príncipe (Palmer, 1934), es del Eoceno Medio parte baja, está constituido por margas masivas o groseramente estratificadas de color blanco o amarillento, calizas arcillosas y arcillas calcáreas. Se depositó en un ambiente batial y su espesor es de 50 m aproximadamente, en ocasiones mayor. Edad que presenta Eoceno Inferior parte alta - Eoceno Medio parte baja.

En la región central de las provincias La Habana y Matanzas se formó la estructura antes llamada “anticlinal Bejucal- Madruga-Limonar”. En él afloran depósitos del Eoceno Inferior hasta el Oligoceno, siendo la unidad más antigua en su parte occidental la Formación Capdevila (que aflora en el núcleo del anticlinal, y la unidad Neoplatafórmica Tinguaro).

#### ❖ Formación Tinguaro (tgr)

Descrita por R. H. Palmer, 1934 y redescrita por P. Brönnimann y D. Rigassi, 1963; M. Iturralde- Vinent, 1972; G. L. Franco, 1969 en: K. Piotrowska *et al.*, 1981; J. F. de Albear *et al.*, 1977. Se extiende entre las regiones de Sergio González y San José de los Ramos, provincia de Matanzas; al N y S de los pueblos de Aguada de Pasajeros y Rodas, provincia de Cienfuegos y en las regiones de Caraballo y Santa Cruz del Norte, provincia de La Habana. Constituida predominantemente por margas de color blanco grisáceo, estratificadas, con intercalaciones de arcillas, calizas arcillosas, que en ocasiones pueden ser algo detríticas, y limolitas de color gris a gris verdosa. Estas intercalaciones se presentan de forma masiva o con una estratificación gruesa. Yace concordantemente sobre la Fm. Jía y discordantemente sobre las formaciones Consuelo y Veloz. Está cubierta concordantemente por las formaciones Colón y Jaruco y transgresivamente por las formaciones Arabos, Cojímar y Paso Real. Se depositó en un ambiente infralitoral con alguna influencia oceánica, su espesor no sobre pasa los 100 m y su edad es Oligoceno Superior.

## 2. El superior de edad Oligoceno Superior hasta el Plioceno Inferior.

### ❖ Formación Cojímar (cj)

Identificada R. H. Palmer, 1934 y redescrita por P. J. Bermúdez, 1950; P. Brönnimann and D. Rigassi, 1963; M. Iturralde, 1969; J. F. de Albear *et al.*, 1977; K. Piotrowska *et al.*, 1981; J. F. de Albear y M. Iturralde, 1983; A. Zuazo, 1984; E. Linares *et al.*, 1985. Se desarrolla en las provincias de Ciudad de La Habana, La Habana, Matanzas y Pinar del Río. Está constituida por Margas calcáreas, arcillosas, arenáceas y a veces nodulares, cretas, calizas biodetríticas arcillosas, calcarenitas de matriz margosa y arcillas. Colores crema, amarillento, blancuzco y grisáceo. Yace concordantemente sobre las formaciones Colón (parte indiferenciada y su Mbro. Coliseo) y Jaruco y discordantemente sobre las formaciones Consuelo, Encrucijada, Guanajay, Punta Brava, Tinguaro, Toledo, Vía Blanca, los grupos Mariel (formaciones Capdevila y Madruga) y Universidad (formaciones Príncipe y Toledo) y las ultramafitas. Está cubierta concordantemente por la Fm. Güines y discordantemente por las formaciones Guevara, Jaimanitas (parte indiferenciada y su Mbro. Punta Monje), Vedado y Villarroja. Transiciona lateralmente a las formaciones Caobas, Güines y Paso Real. Se depositó en la zona infralitoral profunda y parte alta del talud del shelf, entre los 100 y 300 m y su espesor oscila entre 60 y 390m aproximadamente. Su edad es Mioceno Inferior (parte alta) – Mioceno Medio (parte baja).

### ❖ Formación Güines (gn)

Descrita por A. Humboldt, 1826 y redescrita por R. H. Palmer, 1934; P. J. Bermúdez, 1950; M. Iturralde, 1969; J. F. de Albear *et al.*, 1977; N. Popov en: Il.Kantchev *et al.*, 1978; G. L. Franco en: K. Piotrowska *et al.*, 1981; J. F. de Albear *et al.*, 1985. Se desarrolla en las provincias de Pinar del Río, La Habana, Ciudad de La Habana, Matanzas, Cienfuegos, Villa Clara, Sancti Spíritus y Ciego de Avila. Esta compuesta por Calizas biodetríticas de grano fino a medio, fosilíferas, calizas biohémicas, calizas dolomíticas, dolomitas, calizas micríticas sacaroidales y lentes ocasionales de margas calcáreas y calcarenitas. La dolomitización es secundaria. Son por lo general masivas, más raramente estratificadas. Coloración blanca, amarillenta, crema o gris. Yace concordantemente sobre las formaciones Arabos, Caobas, Cojímar, Colón (parte indiferenciada y su Mbro. Coliseo), Jaruco, Lagunitas, Loma Triana (localmente

lo puede hacer también con una ligera discordancia) y Paso Real y transgresivamente sobre las formaciones Arroyo Blanco, Artemisa, Caibarién, Cantabria, Caobilla, Carmita, Caunao, Guanajay, Margarita, Mataguá, Nazareno, Peñón, Perla, Presa Jimaguayú, Punta Brava, Saladito, Santa Teresa, Tamarindo, Trocha, Vega, Vertientes, Vía Blanca, los grupos Pico San Juan, Universidad, el complejo Mabujina y cuerpos de granitoides. Está cubierta concordantemente por la Fm. Arabos y discordantemente por las formaciones Bellamar (parte indiferenciada y sus miembros Cárdenas y El Maíz), Camacho, Canímar (miembros El Abra y Maica), Guevara, Jaimanitas, Punta del Este, Vedado, Vega y Villarroja. Transiciona lateralmente con las formaciones Cojímar y Paso Real. Se depositó en un ambiente sublitoral con muy poca influencia arrecifal, su espesor oscila entre 50 y 1670 m y su edad es Mioceno Inferior parte alta- Mioceno Superior parte basal.

### 3. Del Plioceno hasta el Cuaternario

#### ❖ Formación Jaimanitas (js)

Identificada por J. Brödermann, 1940 y redescrita por J. Brödermann y P. J. Bermúdez, 1940; P. J. Bermúdez, 1950; P. Brönnimann and D. Rigassi, 1963; I. P. Kartashov *et al.*, 1981; L. L. Peñalver en: K. Piotrowska *et al.*, 1981; J. F. de Albear y M. Iturralde, 1985. Es una Faja discontinua que ciñe la costa cubana y gran parte de las islas adyacentes, esta compuesta por Calizas biodetríticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas conteniendo principalmente conchas bien preservadas, corales de especies actuales y ocasionalmente biohermos. Las bolsas cársicas se encuentran rellenas por una fina mezcla carbonato- arcillosa ferruginosa de color rojo ladrillo. Pasan a calcarenitas masivas o finamente estratificadas y a veces contienen intercalaciones de margas. La cementación es variable. La coloración predominante es blancuzca o amarillenta. Yace discordantemente sobre las formaciones Cayo Piedras (miembros Cerro Caudal, Cocodrilo, Guanah y Santa Isabel), Grande, Güines, La Cruz, Mícaro, Río Maya, Vázquez, Vedado, Versalles, los grupos Nipe (formaciones Júcaro y Río Jagüeyes), Remedios y las unidades informales conglomerado Camaroncito (no se conoce el carácter del contacto) y calciruditas Feliz. Está cubierta concordantemente por la unidad informal brecha Salado y discordantemente por la Fm Playa Santa Fé y los depósitos innominados del Cuaternario. Su Ambiente de sedimentación facies de playa, postarrecifal y más limitadamente arrecifal. Su espesor probablemente excede

los 10 m su edad según criterios geomorfológicos y por su posición estratigráfica ha sido considerada como Pleistoceno Superior.

### **III.3 Tectónica del Anticlinal Habana – Matanzas**

Para la caracterización de la tectónica del territorio estudiado se tuvo en consideración la existencia de dos niveles estructurales principales en el desarrollo geológico del territorio cubano: el cinturón plegado y la neoplataforma.

El cinturón plegado abarca los complejos litológicos preorogénicos y orogénicos (Figura III. 2). Los preorogénicos tienen edades comprendidas entre el Jurásico Superior y el Campaniano Inferior y pueden ser oceánicos y continentales. Los del primer grupo son la asociación ofiolítica y el arco volcánico cretácico. Los complejos del segundo grupo son los que constituyen la Plataforma de las Bahamas y el paleomargen continental de las Bahamas (Iturralde-Vinent, 1996).

La sección correspondiente al margen continental en la región Habana – Matanzas está compuesta por las rocas de la UTE o Secuencia Placetas, que si bien originalmente tenía un espesor entre 1000 - 1200 metros, debido al apilamiento como consecuencia del cabalgamiento del "arco antillano" sobre las rocas de cuenca su espesor puede

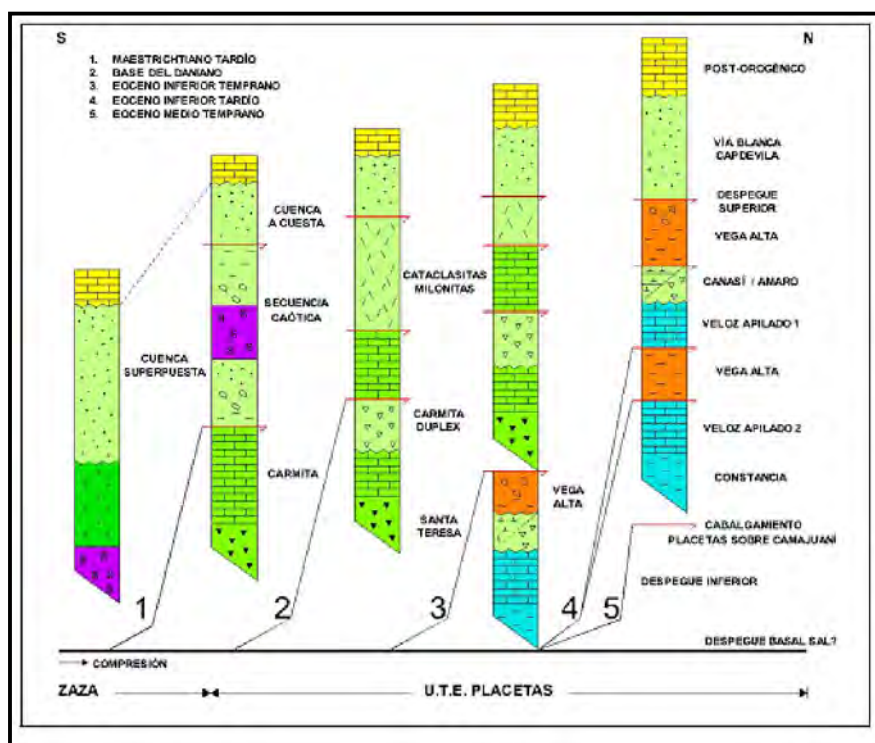


Figura III.2 Esquema de propagación de los cabalgamientos en La Habana - Matanzas, según Sánchez (2009).

llegar a más de 4 000 metros según muestran las perforaciones profundas. Las rocas del Aptiano–Turoniano forman estructuras duplexes, como en Vía Blanca y Boca de Jaruco. Los carbonatos del Jurásico – Cretácico Inferior forman dos apilados de mantos y escamas según se ha descubierto recientemente en los yacimientos de Puerto Escondido y Yumurí; con magníficas producciones de petróleo pesado en ambos apilados, que muestran similar composición litológica.

Las repeticiones de los estratos se producen por determinados niveles de despegue que se comportan como fallas inversas que se relacionan con el gran despegue inicial de la sal (Sánchez Arango, 2009).

En el mega bloque Matanzas las estructuras plegadas y escamadas compuestas por ofiolitas, volcanitas y las formaciones Vía Blanca y Peñalver, se orientan en dirección NW; según la tendencia cubana (Albear e Iturralde-Vinent, 1983; Piotrowska, 1986). En este conjunto también aflora el conocido diapiro yesífero San Adrián, formando una escama tectónica que parece ser parte de la secuencia basal del paleomargen continental, pues el yeso contiene inclusiones de fragmentos de metamorfitas siálicas, presumiblemente premesozoicas (Somin y Millán, 1981). También afloran aquí pequeñas escamas de calizas de la secuencia de Placetas y arcosas de la Formación Bacunayagua de la primera fase tectónica, las cuales contienen fragmentos de granitos Jurásicos y de mármoles Proterozoicos. De acuerdo con Piotrowska (1986), el conjunto escamado de este megabloque conforma tres nappes principales dirigidos hacia el NE.

En la parte meridional del territorio se expone una estructura elevada alargada, dispuesta en dirección W-E, conocida como Anticlinal Bejucal-Madruga-Limonar (Albear e Iturralde-Vinent, 1983; Mossakovskiy *et al.* (1979) esta estructura la denominaron, en sentido general, como Bloque Bejucal-Madruga-Limonar, aunque se desmembró en bloques más pequeños para su descripción.

#### **III.4 Magmatismo del Anticlinal Habana-Matanzas**

En el anticlinal Habana – Matanzas, la actividad magmática en la región esta dada por la presencia de rocas ofiolíticas de cuenca interarcos (Fonseca *et al.*, 1984). Las ofiolitas en Cuba forman parte de un gigantesco melange tectónico; este aspecto dificulta la observación de las interrelaciones de sus diferentes complejos, los cuales en algunas zonas están muy mal representados o no existen (Fonseca *et al.*, 1984). En la literatura se presentan cinco complejos, típicos para estas asociaciones.

De los cinco complejos planteados en la literatura en el área se manifiestan solamente tres:

1. Gábrico cumulativo.
2. Diabásico.
3. Basáltico con sedimentos.

El primer complejo está integrado en dos zonas principales. La primera asociada a la faja del melange serpentinitico y la segunda al norte en la región de desarrollo de la Formación Orozco. El tercer complejo de la asociación ofiolítica aflora limitadamente en la región. Su estructura se observa al oeste del macizo de Cajálbana, donde los diques de diabasas cortan a los gabros anfibolizados. (Iturralde–Vincent, 1996).

Las ofiolitas del Anticlinal Habana – Matanzas se ubican en la mitad septentrional cubana, en la llamada faja Mariel–Holguín (Iturralde–Vincent 1996). Donde forman parte de un melange intensamente deformado, que incluye escamas arrancadas del margen continental de Las Bahamas (subyacente), así como bloques del arco volcánico cretácico y sedimentos del Campaniano Tardío. Este melange, usualmente desmembrado, yace sobre las rocas del paleomargen continental de Las Bahamas y se cubre por el sur, por mantos tectónicos del arco volcánico cretácico. Es común encontrar olistostromas vinculados a los contactos del melange con las rocas infra y suprayacentes. Estas ofiolitas están representadas fundamentalmente por serpentinitas, forman cuerpos de melange que se “interdigitan” con las rocas de la Formación Vía Blanca, formando espesores considerables intensamente deformados y mezclados. No obstante, se presentan espesores importantes con predominio de las serpentinitas intensamente fracturada, que se comportan como reservorios y almacenan producciones de petróleo, como en el yacimiento Cruz Verde en el pasado y ahora en los pozos Bacuranao. Las propias serpentinitas hidratadas sirven de sello. Esas serpentinitas se diferencian de los paquetes terrígenos de la Formación Vía Blanca fácilmente por el registro geofísico, fundamentalmente por la diagráfia del Gamma (Valladares *et al.*, 1997).

## **CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y MATERIALES UTILIZADOS**

Para cumplir con los objetivos trazados en la investigación, enfocados a la solución del problema científico, se utilizó la metodología propuesta en la (figura IV. 1). El trabajo se dividió en tres etapas: una primera realizada en el gabinete, donde se revisó un cúmulo considerable de bibliografía, una segunda donde se realizaron visitas de campo a afloramientos y pozo petrolero, y una tercera etapa que consistió en el trabajo investigativo como tal. Se logró una buena integración de datos de superficie y subsuelo, enfatizando en las características de las facies y en lo posible el contenido faunal en ellas (aspecto que se vinculó de estudios anteriores). El flujo de trabajo abarcó además sesiones prácticas, con la correspondiente familiarización con el subsuelo de la FNCP, temáticas de petrofísica y en menor medida de sísmica, lográndose una excelente combinación de datos geólogo- petroleros. A lo largo de esta cadena de trabajo, se utilizaron, de manera moderada tres softwares de uso internacional en la actividad petrolera: **Mapinfo**, una aplicación GIS para la proyección en superficie de pozos y mapas geológicos; **Interactive Petrophysics (IP)**, una potente herramienta de análisis de registros de pozo; y el **Petrel**, en su modo más elemental de visualización tridimensional de pozos y líneas sísmicas. A continuación se detallan cada una de las etapas de la investigación.

### **IV.1 Etapa I: Trabajo de gabinete**

El trabajo de gabinete realizado para esta investigación partió de una minuciosa revisión bibliográfica de literatura relacionada esencialmente con temas estratigráficos y de constitución geológica profunda. Fueron revisados desde monografías escritas a principios del siglo XIX hasta informes actuales, algunos inéditos, y abarcadores trabajos investigativos llevados a cabo por geólogos cubanos y extranjeros. El objetivo esencial de esta primera etapa fue la familiarización con las formaciones geológicas que conforman el subsuelo cubano, sobre todo en su composición litológica. Algunos temas prácticos formaron parte de esta etapa, como la identificación en muestras de canal de tipos de rocas y su asociación con niveles estratigráficos.

En una segunda parte de esta etapa fue necesaria la actualización en temas petroleros. Así, secciones geológicas de la franja norte de crudos pesados, temas relacionados a petrografía de carbonatos y algunos procesos diagenéticos tuvieron que ser

inevitablemente estudiados, aunque no son objetivos del trabajo. Por otra parte, los importantes registros de pozo (petrofísica), aspecto vital en la presente investigación, también merecieron actualización, más tratándose de adquisiciones modernas realizadas por la compañía Schlumberger. A partir de la entrada de esta compañía a nuestro país a principios de los años '90, comenzaron a verse en Cuba una serie de herramientas y tipos de datos que no eran familiares en etapas anteriores, también la forma de presentación de estos registros de pozo eran novedosos. Sin embargo, los principios de funcionamiento de todos estos dispositivos no distaban mucho de las otras herramientas soviéticas.



Figura IV.I Diagrama de Flujo.

Por el papel que juegan los registros de pozo en el presente trabajo, es necesario hacer una breve reseña de los que fueron utilizados: Registros Radiactivos (Gamma), Registros Eléctrico (Resistividad) y Registros Neutrónicos (Porosidad).

#### IV.1.1 Registros radiactivos

La herramienta de Rayos Gamma mide la radioactividad natural de las formaciones basándose en tres elementos esenciales: Torio, Uranio y Potasio. En formaciones sedimentarias el registro refleja normalmente el contenido de arcilla de la formación. Esto se debe a que los elementos radiactivos (sobre todo el potasio) tienden a concentrarse en las arcillas. Las formaciones limpias usualmente tienen un bajo nivel de contaminantes radioactivos, tales como cenizas volcánicas o granito deslavado, o aguas de formación con sales de potasio.

Las principales aplicaciones son:

- ✓ Indicador de arcillosidad.
- ✓ Correlación.
- ✓ Detección de marcas o trazadores radioactivos.

Con la introducción de las herramientas de Schlumberger se lograron niveles de sensibilidad muy altos, donde las curvas radiactivas se separaban en dos tipos: CGR (Compensated Gamma Ray), que mide el contenido de Torio y Potasio; y el SGR (Spectrometry Gamma Ray), el cual mide los tres elementos. La separación de las

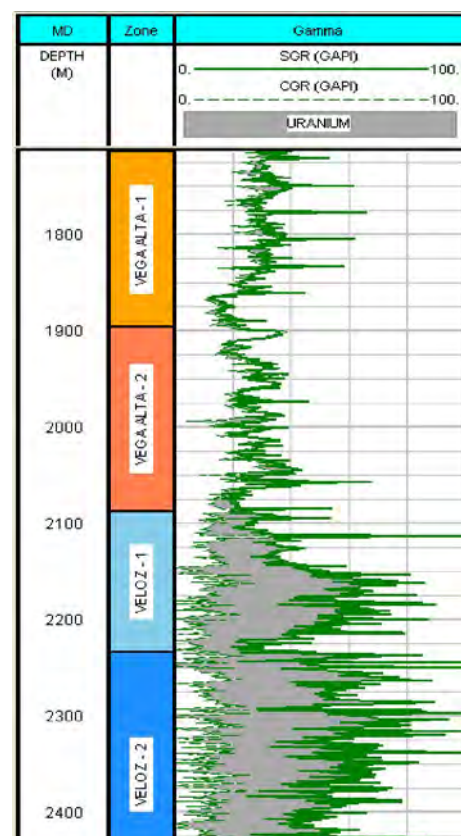


Figura IV.2 Registros radiactivos CGR y SGR, la separación de las curvas indica el contenido de Uranio.

curvas (Figura IV.2) representa por consiguiente el contenido de Uranio. Este hecho fue de mucho valor, para los expertos foráneos era difícil explicar cómo existía mayor radioactividad en rocas carbonatadas limpias que en rocas con más de un 80% de contenido de arcilla. La explicación está en que los reservorios cubanos son a la vez rocas madre, donde en ambientes deposicionales muy profundos, se concentraron

Los registros eléctricos resistivos se basan en la circulación de una corriente entre un electrodo en la sonda y otro en la superficie. Un par de electrodo en la sonda se utiliza para medir la resistividad en la formación cuando la sonda asciende en la superficie. Como regla general el Laterolog se usa en formaciones de baja resistividad, pero debido a sus buenos resultados es el que más se usa en nuestro país. Este método

Al utilizar la herramienta Doble Laterolog se ofrecen dos mediciones de resistividad con diferente profundidad de investigación, se conocen con el nombre



Las principales aplicaciones de la herramienta son:

- ✓ Resistividad en la zona virgen y zona lavada.
- ✓ Perfiles de invasión.
- ✓ Correlación.
- ✓ Detección de vistas rápidas de hidrocarburos.
- ✓ Indicador de hidrocarburos móviles.

Estos mismos registros de resistividad explicados anteriormente fueron los utilizados en el área de Canasí (Figura IV.4), las curvas de LLD y LLS se separan en algunas áreas indicando invasión de fluidos y consecuente permeabilidad asociada. Los valores de resistividad muy altos pueden ser asociados a saturaciones de petróleo, pero en muchos casos se relacionan a carbonatos muy puros.

Es válido remarcar que estos registros resistivos fueron utilizados como elementos de correlación en un tercer orden, siendo los principales con este propósito el Gamma y el Neutrón. Hecho dado por la no asociación de valores de resistividad a facies determinadas sino más bien a posiciones estructurales de las secuencias. No obstante, también la resistividad aporta algunos criterios de correlación.

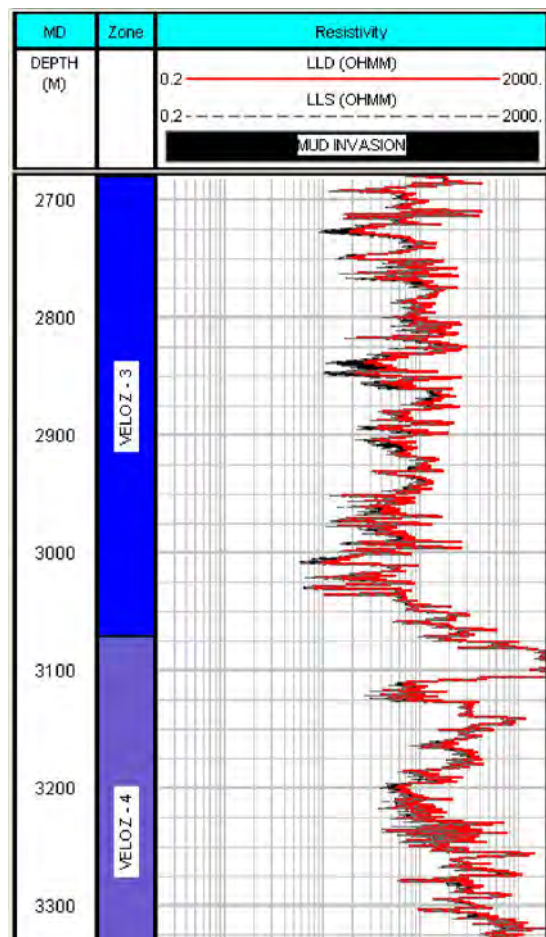
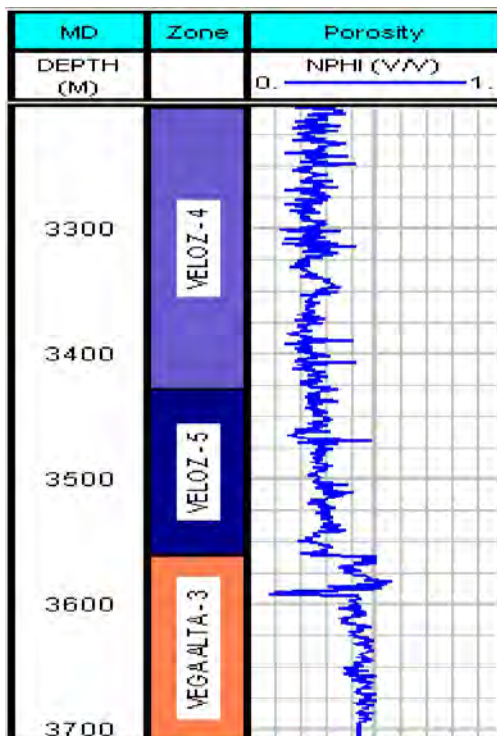


Figura IV.4 Registros resistivos LLD y LLS, su separación indica movimiento de fluidos y por lo tanto permeabilidad.

### IV.1.3 Registros neutrónicos (de Porosidad).

El principio de funcionamiento de este método es el bombardeo de la formación con neutrones, este provoca que la formación emita rayos gamma de acuerdo a su contenido de hidrógeno. El hidrógeno aparece en las formaciones en forma de agua, gas y petróleo, pero no en los minerales. Así la respuesta de este método es indicativa de porosidad. Debido a que las lutitas contienen agua en sus poros los reservorios con arcillas darán como resultado porosidades aparentes más elevadas. El contenido de hidrógeno en el petróleo y el agua es aproximadamente el mismo, pero inferior al



contenido de hidrógeno en el gas. En zonas de gas este método da como resultado valores muy bajos de porosidad. Este registro puede efectuarse en pozos encamisados porque el bombardeo gamma penetra el acero. Este es el caso de los pozos que nos interesan, gran parte de los registros de porosidad se realizaron en caños encamisados.

Los valores de porosidad que se tuvieron en cuenta, como son a partir de registros neutrónicos, reciben el nombre de NPHI (Figura IV.5).

Figura IV.5 Registro de porosidad por neutrón (NPHI).

A partir de cualquier registro, y utilizando las facilidades del software IP, puede obtenerse un resumen estadístico rápido de cualquier propiedad a lo largo del pozo, esto permite hacer una mejor caracterización del subsuelo y tener elementos de correlación cuantitativos.

## IV.2 Etapa II: Trabajo de campo

El trabajo de campo se dividió en dos partes: un itinerario geológico y una visita a un pozo petrolero en perforación.

- **Itinerario geológico**

Con el objetivo de lograr un mejor conocimiento de la litología de las formaciones geológicas presentes en el área de estudio, sus patrones estructurales más importantes, así como sus relaciones estratigráficas con otras formaciones (de ser posible), se realizó un itinerario geológico de campo. Este se enfocó en los alrededores del poblado de Canasí, donde aflora una cantidad diversa de unidades geológicas que debían ser detectadas en el subsuelo de la parte norte, donde están enclavados los pozos petroleros objeto del estudio. En total se distinguieron en superficie 4 unidades geológicas: 1- Ofiolitas de la UTE Zaza, 2- Margas y calizas organógenas del Grupo Universidad, 3- Calizas masivas y porosas de la Formación Güines y 4- Calizas estratificadas de la Formación Cojímar. La observación directa de estos afloramientos permitió tener una idea más precisa de las características de las facies a encontrarse en el subsuelo. La (figura IV.6) muestra fotografías de cada una de estas unidades geológicas. Lamentablemente no se visitaron afloramientos de la Formación Vía



**Figura IV.6** Afloramientos visitados en el área de Canasí. A: Ofiolitas fracturadas del Terreno Zaza. B: Margas y calizas organógenas del Grupo Universidad. C: Calizas masivas de la formación Güines. D: Calizas estratificadas de la formación Cojímar.

Blanca, a pesar de estar bien representada en los mapas geológicos del área a diferentes escalas.

- **Visita a pozo petrolero en perforación**

Con el objetivo de conocer elementalmente temas acerca de la perforación de un pozo petrolero profundo, y en esencia todo lo relacionado a la toma de muestras (objeto de posterior estudio), su preparación, embalaje, mecanismos de contaminación, circulación en el lodo de perforación y fundamentos de trabajo de los complejos equipos de perforación, se realiza una visita a un pozo exploratorio.

Este elemento fue importante dentro del trabajo que nos proponemos, puesto que permite de alguna manera entender los cambios de la actividad petrolera cubana en los últimos años, donde la vinculación con compañías extranjeras ha impuesto inevitablemente nuevos métodos de trabajo. El ejemplo más evidente lo constituyen las muestras de subsuelo que se colectan en un pozo. Durante las décadas de los '70 y '80, en gran parte de los pozos se extraían núcleos o testigos de perforación, esta es la evidencia más directa que se pueda tener del subsuelo, por lo tanto, la representatividad del muestreo era bien alta. En la actualidad, por razones puramente económicas, no se extraen testigos de perforación, y la observación directa del subsuelo se remite únicamente a las muestras de canal (estas también reciben el nombre de recortes, cortes o cuttings). Las muestras de canal no son más que pequeños fragmentos de roca que se desprenden de la formación al ser triturada por la barrena de perforación, al caer en el agujero del pozo son empujados hacia la boca de este por la presión del fluido de perforación (Figura IV.7). Al llegar las muestras a la parte superior del pozo pasan por una especie de agitador (zaranda) que tamiza el lodo para que regrese al sistema limpio y separa los recortes sólidos, estos recortes se muestrean cada 5 ó 10 m, en dependencia del interés que tenga el intervalo perforado, posteriormente son lavados, secados y almacenados en pequeños frascos que se identifican cuidadosamente (Figura IV.8).

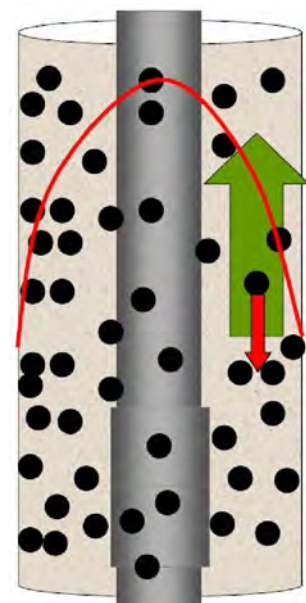


Figura IV.7 Movimiento de los cuttings en el caño del pozo.

Los recortes de perforación o muestras de canal tienen algunas desventajas que deben ser señaladas:

1. Debido a su pequeño tamaño pueden ser re-circulados dentro del lodo, de forma que puedan verse en profundidades de las cuales no son representativas.



Figura IV.8 Muestras de canal a intervalos de 5 m.

2. Al ser lavados se pierde la fracción fina, y más arcillosa, por lo que pueden describirse litologías con algún margen de error.
3. Si no son lavados correctamente pueden presentar adherido lodo de perforación, este lodo puede presentar pequeñas partículas sólidas y microfósiles que no representan el intervalo observado, pudiendo conllevar a errores en la interpretación de la estratigrafía del subsuelo.

Pese a estas desventajas, las muestras de canal poseen muchas ventajas:

1. Constituyen la única manera de tener un muestreo continuo del subsuelo.
2. Cuando se combinan adecuadamente con registros de pozo son una herramienta de valor extraordinario.
3. Cuando se definen con certeza las litofacies in-situ (o no re-circuladas), se logra una excelente caracterización del subsuelo.

### **IV.3 Etapa III: Trabajo investigativo**

En el esquema IV.1 se resumen los pasos a seguir dentro de cada etapa del trabajo investigativo. En el caso de la última etapa se dividió en 5 pasos ordenados que serán brevemente detallados:

1. Descripción litológica de muestras de canal.

Esta constituyó la primera fase del trabajo investigativo, previamente se obtuvieron conocimientos litológicos teóricos y prácticos a través de revisiones bibliográficas,

actualización de sistemas de clasificación de rocas, sesiones prácticas en el microscopio estereoscópico y visitas a afloramientos. Ya en este nivel del trabajo se pasó a la descripción litológica de las muestras de 4 pozos: Canasí-3, Canasí-4, Canasí-6 y Canasí-9. Por lo extenso de este trabajo primario y la cercanía de todos los pozos se agruparán las unidades y serán descritas sólo una vez. De cada pozo se revisaron más de 700 muestras, con un volumen total de casi 3000 muestras. Se delimitaron en cada pozo unidades litológicas diferentes, teniendo así los primeros topes en el subsuelo.

## 2. Ajuste de topes con registros de pozo.

Una vez delimitados paquetes litológicos, y debido a los errores que se introducen por la ya explicada re-circulación de las muestras en el lodo, se pasó a los ajustes de los topes con los registros de pozo. En esta etapa además se tiene una caracterización petrofísica del subsuelo, elemento que nos permite identificar cuantitativamente qué zonas se comportan como sello y como reservorio, y cuáles de ellas pueden aportar mayor cantidad de hidrocarburos.

## 3. Delimitación de unidades geológicas.

Al tener topes de intervalos ajustados con registros, y una primera asociación con formaciones ya revisadas en literatura y vistas en afloramientos, se pasa a un elemento estratigráfico importante: el contenido faunal. Es necesario aclarar que no es objeto de este trabajo la identificación de fósiles marcadores, sino que se utilizaron determinaciones anteriores para poder nombrar estos paquetes litológicos. Estos límites de unidades se plotearon a lo largo de los caños y tridimensionalmente, para ello se empleó el software Petrel.

## 4. Confección de esquemas de correlación.

Ya definidas las unidades geológicas presentes en el subsuelo se confeccionaron esquemas de correlación valiéndonos de las bondades del software Interactive Petrophysics, el cual permite editar litologías y notas de determinaciones faunísticas, teniendo toda la información concentrada en una sola sección de correlación.

## 5. Columna litoestratigráfica generalizada.

Para una buena representación del subsuelo se confeccionó una columna generalizada. Para el límite de unidades geológicas se tomaron valores promedios de profundidad determinadas en cada pozo.

Como último elemento, y cumpliendo con uno de los objetivos más importantes del trabajo, se pasó a la integración de la información del subsuelo con los datos sísmicos, lo que permitió señalar algún área con perspectivas dentro del bloque.

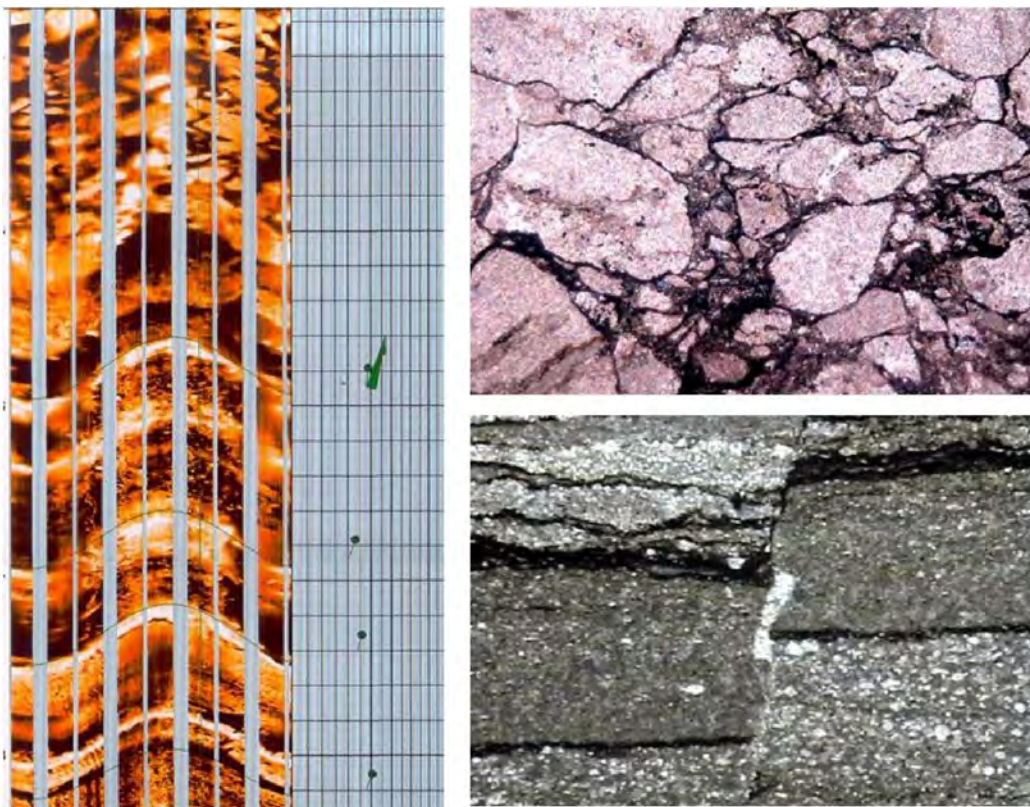
Los materiales utilizados para este trabajo fueron los siguientes:

- ✓ Muestras de canal de 4 pozos.
- ✓ Registros de pozo (Radiactivo, Eléctrico, Neutrón).
- ✓ Determinaciones paleontológicas.
- ✓ Datos de algunos testigos de perforación.
- ✓ Líneas sísmicas del área.
- ✓ Mapas geológicos del área.
- ✓ Bibliografía relacionada a constitución geológica del subsuelo cubano.
- ✓ Materiales para el análisis de muestras: Microscopio estereoscópico, útiles convencionales para manejo de muestras (HCl, pinzas, portamuestras, cámara fotográfica digital, puntas de acero y cobre para estimar dureza).
- ✓ Computadora con softwares especializados (Mapinfo, Interactive Petrophysics, Petrel).

## **CAPÍTULO V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

El área de Canasí tiene una constitución geológica similar al resto de la FNCP, donde el cinturón plegado y cabalgado de unidades pre-Campanianas ha sido sepultado bajo una cobertura carbonatada del Neógeno. Esta área ha constituido, en los últimos 8 años, blanco de una controversia sobre la edad del reservorio (J. Fernández y J. Hernández en S. Valladares, 2006). En ese trabajo se asocian los reservorios de Veloz a unidades completamente erosionadas y redepositadas en secuencias fragmentarias del Paleoceno, asignándole el nombre informal de "Cretas Canasí". Estos datos se fundamentaron esencialmente en las determinaciones micropaleontológicas de nannoplancton calcáreo. Este hecho, por su extrema complejidad y disyuntiva aún no resuelta, no es objeto del presente estudio, pero es necesario hacer algunas precisiones referentes al tema:

- Las características de las rocas dentro del reservorio se corresponden enteramente a las descritas durante muchos años en testigos de perforación tomados en intervalos de Veloz.
- Las secuencias fragmentarias dentro de los reservorios del Jurásico Superior – Neocomiano han sido identificadas durante muchos años. Se observan en



**Figura V.1** Texturas clásicas y laminares evidenciadas por los registros de imágenes (izquierda) y por secciones delgadas a núcleos (derecha).

testigos de perforación, muestras de superficie, afloramientos y registros de imágenes (Figura V.1). Estas brechas pueden estar asociadas a eventos tectónicos y/o diagenéticos (O. López, 2003).

- El nannoplancton calcáreo determinado en secciones delgadas hechas a los recortes (ditches), esencialmente se encuentra por fuera de la roca, hecho que tiende a confusiones. El uso continuo de lodos de perforación, sin cambiarse en ninguna sección del pozo, conlleva a que este se sature de los elementos faunales más pequeños e induzca a interpretaciones erróneas.
- Por otra parte, en escasos núcleos tomados en algunos pozos de Canasí, la mayoría de muy poca recuperación, análisis bioestratigráficos y palinológicos han arrojado edades de Jurásico Superior Titoniano (Van Helden, 2004).
- La mayoría de los ditches que se le realizaron a los distintos tipos de calizas en estos pozos arrojaron edades del Jurásico Superior Titoniano, muy pocos Kimmeridgiano (S. Blanco en J. Álvarez, 2001).

Por todas las razones antes expuestas en el presente trabajo se asumieron los reservorios como facies dentro del grupo Veloz.

## **V.1 Descripciones litológicas de cada unidad**

### **FORMACIÓN GUINES**

Calizas fosilíferas de color blanco y amarillo muy claro, en ocasiones compuestas casi totalmente por bioclastos. Estos carbonatos son poco consolidados debido a su elevada porosidad interarticular y por disolución, son muy comunes los moldes disueltos y microvúgulos. Calizas biohérticas o arrecifales (50%), de color blanco, cristalinas, con frecuencia son grandes fragmentos de macrofósiles, algas y corales calcáreos. Dolomitas de grano fino, de colores amarillo y carmelita, esta última variedad de aspecto sucroso y alguna impregnación de bitumen. Algunas dolomitas son incoherentes por componente arcilloso. Coquinas de color blanco, crema y algunas grises oscuras, roca formada completamente por caparazones de microorganismos, muy friables y porosas. Estas rocas yacen discordantemente sobre la Formación Capdevila.

En cuanto al comportamiento del registro Gamma en esta sección generalmente tiene valores bajos, estas calizas son limpias, sin componente arcilloso, por lo que las

lecturas de Th, U y K son bajas. En algunos casos estas calizas aparecen fracturadas y con petróleo pesado o asfalto, aumentando los valores del registro radiactivo. Los valores de porosidad son de hasta más de 50%, hecho influenciado por la poca compactación a la que han sido sometidas estas rocas y las enormes huellas de disolución que presentan (vúgulos y cavernas).

## FORMACIÓN CAPDEVILA

Litológicamente representada por arcilitas verdes y grises, limolitas, conglomerados con matriz arcillosa y fragmentos de volcánicos y ofiolitas. En menor proporción areniscas de grano fino y escaso cemento calcáreo. La litología de Capdevila se presenta en esta zona con bastante similitud a la Formación Vía Blanca, por lo que el contenido faunal fue determinante en su diferenciación, detectándose nannoplancton calcáreo del Paleógeno en las rocas arcillosas (Figura V.2). Esta unidad yace discordantemente sobre mantos del complejo ofiolítico.

Las lecturas radiactivas frente a las rocas de Capdevila tienen un comportamiento irregular, pero con una tendencia de valores más elevados del Gamma (20-40 GAPI), hecho que se explica por la presencia de arcilla como matriz de los clastos conglomeráticos.



Figura V.2 Nannoplancton calcáreo del Eoceno Inferior en rocas arcillosas de Capdevila.

## TERRENO ZAZA (OFIOLITAS)

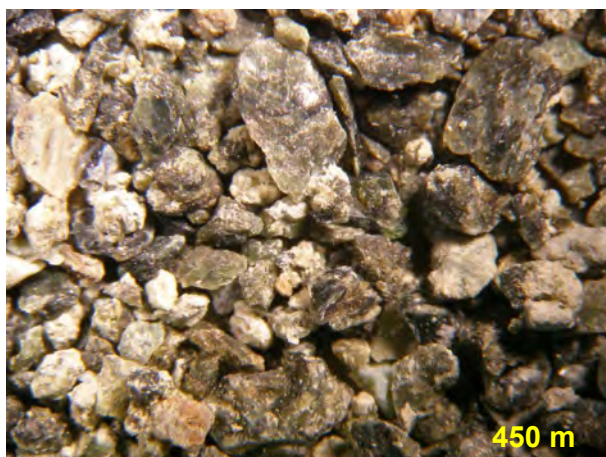


Figura V.3 Serpentinitas del complejo ofiolítico.

Aunque con muy poco espesor, los cuerpos de ofiolitas pueden seguirse en todo el campo, alcanzando una mayor potencia hacia el oeste (Canasí-9). Las rocas más representativas son las serpentinitas de color verde oscuro y más claro (Figura V.3), con diverso grado de alteración y dureza, desde muy cristalinas

hasta transformadas a minerales arcillosos y del grupo del talco. También se identifican peridotitas negras, en capas finas, y piroxenitas verdes muy oscuras, se observaron trazas de gabros negros y diabasas. En ocasiones se observan fracturadas, brechadas, con redes de crisotilo-antigorita y minerales accesorios de magnetita, también minerales sueltos de asbesto verde claro y magnesita blanca. En zonas estas ofiolitas se presentan en forma de melange tectónico donde coexisten con rocas volcánicas y escasas calizas.

Las ofiolitas tienen una respuesta radiactiva muy peculiar: son los valores más bajos y estables que se registran en el subsuelo cubano, lo cual se debe a la no presencia de elementos radiactivos que son más comunes en cuerpos sedimentarios.

Pese al poco espesor de las ofiolitas en esta zona, hay una buena correlación en todos los pozos, incluso observándose en la parte media del paquete un aumento brusco y local en el registro Gamma que pudiera asociarse con un evento tectónico (falla de cabalgamiento). Las ofiolitas yacen en contacto tectónico sobre la secuencia arcillosa de Vía Blanca.

#### FORMACIÓN VÍA BLANCA

Con un amplio desarrollo en el subsuelo del área y en gran parte de la FNCP, litológicamente conformada por una alternancia de limolitas grises verdosas, beiges, arcillas verdes y rojizas, ambas con variable componente calcáreo (Figura V.4). También se intercalan capas de areniscas de grano fino y medio, subredondeados de selección moderada a buena, con cemento



Figura V.4 Limolitas y arcillas de Vía Blanca.

calcáreo. Estos clásticos finos están enriquecidos mayormente en material volcánico, ya sea en forma de andesitas, basaltos y tobas, como en forma de algunos volúmenes de ceniza volcánica redepositada y alterada, también hay zonas donde abundan los granos de plagioclasas y cuarzo. Horizontes de conglomerados de similar proveniencia y con matriz generalmente arcillosa, estos pueden tener también fragmentos de serpentinitas y en ocasiones pueden resultar buenos reservorios.

En el área que nos ocupa Vía Blanca fue dividido en dos horizontes denominados informalmente Vía Blanca-1 y Vía Blanca-2. Litológicamente son similares, con las rocas clásticas finas de color gris y verdoso como facies comunes para ambos paquetes, la diferencia estriba en el mayor enriquecimiento en clastos de serpentinas de la parte superior y fragmentos de calizas en la parte inferior.

El registro Gamma frente a Vía Blanca es típico de zonas arcillosas, con valores moderados (20-30 GAPI) del CGR, y muy cercanos del SGR, por lo que apenas hay contenido de Uranio en esta unidad. El paquete inferior tiene una radiactividad ligeramente menor, explicada por la disminución sutil de rocas arcillosas. Los valores de porosidad oscilan entre 40-50%, siendo menores hacia la base (15-25%) debido al enriquecimiento en calizas en forma de fragmentos.

### FORMACIÓN VEGA ALTA

Conformada por arcilitas verdosas y grises, limolitas verdes y beige, margas grises claras, capas de brechas y conglomerados con fragmentos de calizas y algunas rocas ígneas, calizas blancas muy cristalinas y pedernales radioláricos de diversos colores, esencialmente verdes claros, blancos y grises (Figura V.5). Esta unidad también fue dividida en dos intervalos: Vega Alta – 1 y Vega Alta – 2, el primero tiene un carácter



Figura V.5 Pedernales de diversos colores, base de Vega Alta.

más heterogéneo, con clásticos finos y algunas capas de conglomerados que pueden involucrar fragmentos de rocas volcánicas y serpentinitas. El paquete inferior es muy rico en arcillas y pedernales, siendo comunes las capas de brechas a medida que el contacto discordante con Veloz se acerca.

Los registros radiactivos dentro de Vega Alta también son moderados, algo más elevados que en Vía Blanca, oscilando

entre 20-40 GAPI. Los valores de porosidad se encuentran entre 40-60%, muy típicos de arcillas.

## GRUPO VELOZ:

Este se observó en todos los pozos estudiados, se dividió el corte en tres intervalos: Veloz – 1, Veloz – 2 y Veloz – 3. Estas divisiones fueron hechas en base a las características de las rocas y su respuesta petrofísica (registros de pozo).

### • Veloz – 1

Se disponen calizas de diferentes tipos, cremas, amarillas y blancas, duras, cristalinas, microfragmentarias, otras microcristalinas, en capas finas, con frecuencia se observan brechadas y fracturadas, con petróleo pesado en fracturas (Figura V.6). También calizas blancas, incoherentes, con



Figura V.6 Diferentes tipos de calizas y pedernales dentro de Veloz – 1.

finas capillas paralelas de bitumen que le confieren estructura bandeada a la roca. En porcentaje variable hay pedernales de color ámbar, en capillas muy finas y angulosas, traslúcidos, muy duros. Escasas argilitas negras, calcáreas, coherentes, con algunos romboedros de dolomita asociados.

### • Veloz – 2

Similar a intervalo anterior, sólo que hay un predominio de calizas bandeadas de bitumen, blancas y cremas claras, incoherentes, en ocasiones arcillosas y de color

más oscuro, con apariencia terrosa

por impregnación de materia orgánica (Figura V.7). Abundantes argilitas

calcáreas de color pardo oscuro y negro, consolidadas, con romboedros

de dolomita abundantes, también capas de dolomitas cristalinas, duras,

porosas, con petróleo pesado asociado. En menor proporción

calizas grises y cremas oscuras, con bioclastos observables y otras



Figura V.7 Calizas dentro de Veloz – 2, muchas de ellas bandeadas por bitumen.

microcristalinas muy duras. La respuesta del registro radiactivo dentro de esta

sección es la mayor en todo el subsuelo de Canasí, con valores que con frecuencia sobrepasan los 50 GAPI. Esta respuesta radiactiva, según investigadores de los reservorios carbonatados cubanos puede deberse a la deposición de pequeñas cantidades de sales de Uranio en las fracturas y además a la presencia de este elemento en la materia orgánica de nuestras rocas madre (S. Valladares, 1997). Los valores de porosidad promedio oscilan entre 15 – 25 %. La resistividad fluctúa entre 70 – 150 ohmm.

- **Veloz – 3**

Este intervalo se caracteriza por la presencia de carbonatos más limpios o con poco contenido arcilloso, blancas, amarillas y grises, cristalinas, duras, muy fracturadas, con bioclastos observables y algunas microcristalinas (Figura V.8). En fracturas se observa petróleo pesado. Algunas capas de dolomitas de color crema claro, con porosidad intercristalina e impregnación de petróleo. Los



Figura V.8 Calizas cristalinas dentro de Veloz – 3.

Los pedernales en este intervalo son escasos, las argilitas calcáreas y calizas incoherentes también se observan esporádicamente.

## V.2 Características petrofísicas de las unidades geológicas

Una vez definidos los intervalos litológicos, sus profundidades se ajustaron con ayuda de los registros de pozo, lográndose además caracterizar, con las tres curvas utilizadas, estos paquetes (Schlumberger, 1991). También se aplicó estadística descriptiva elemental para mostrar las principales diferencias de cada intervalo, utilizando histogramas para cada registro. La (Figura V.9) muestra el comportamiento de las curvas de radiactividad natural, resistividad y porosidad para cada unidad

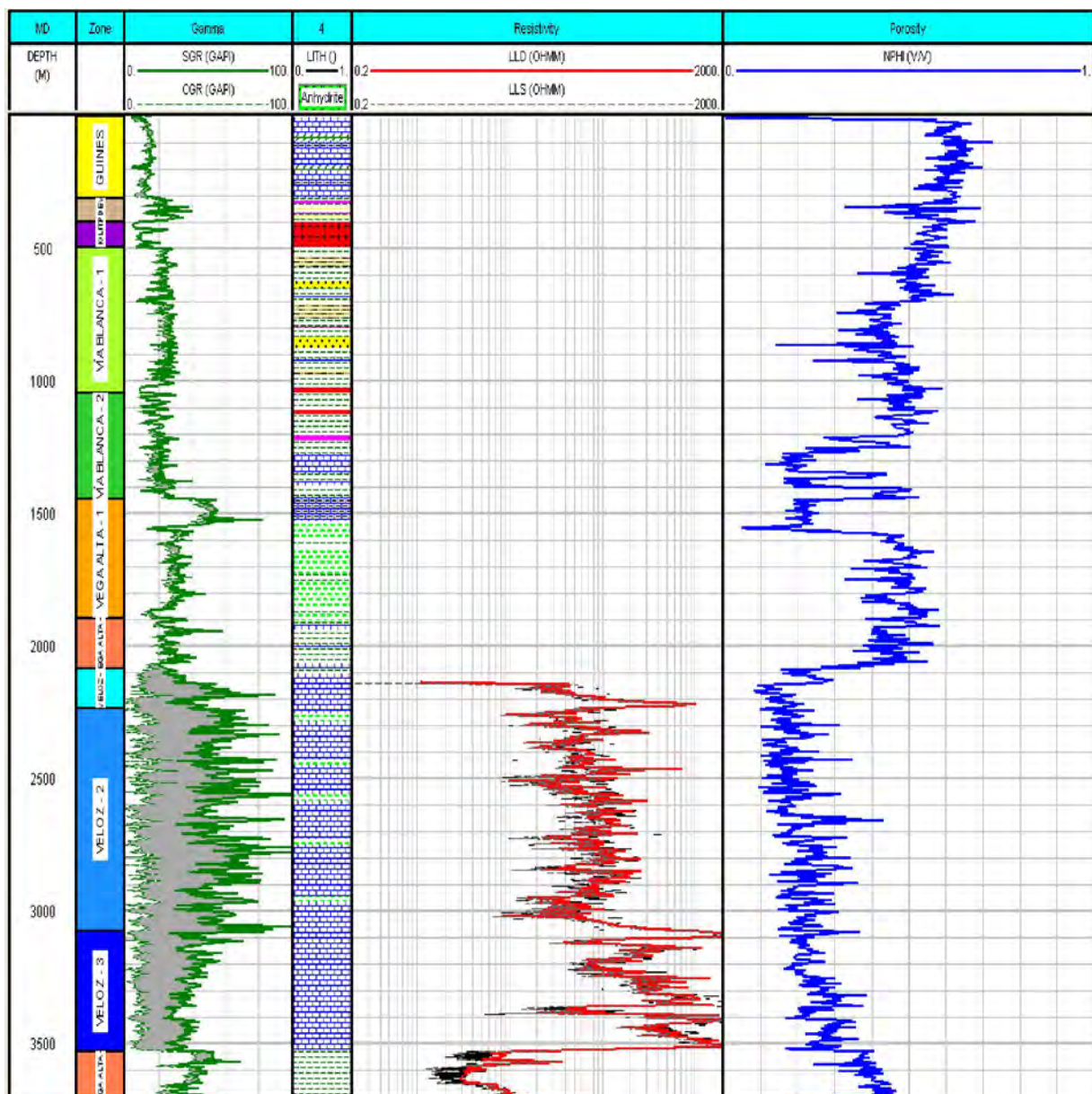
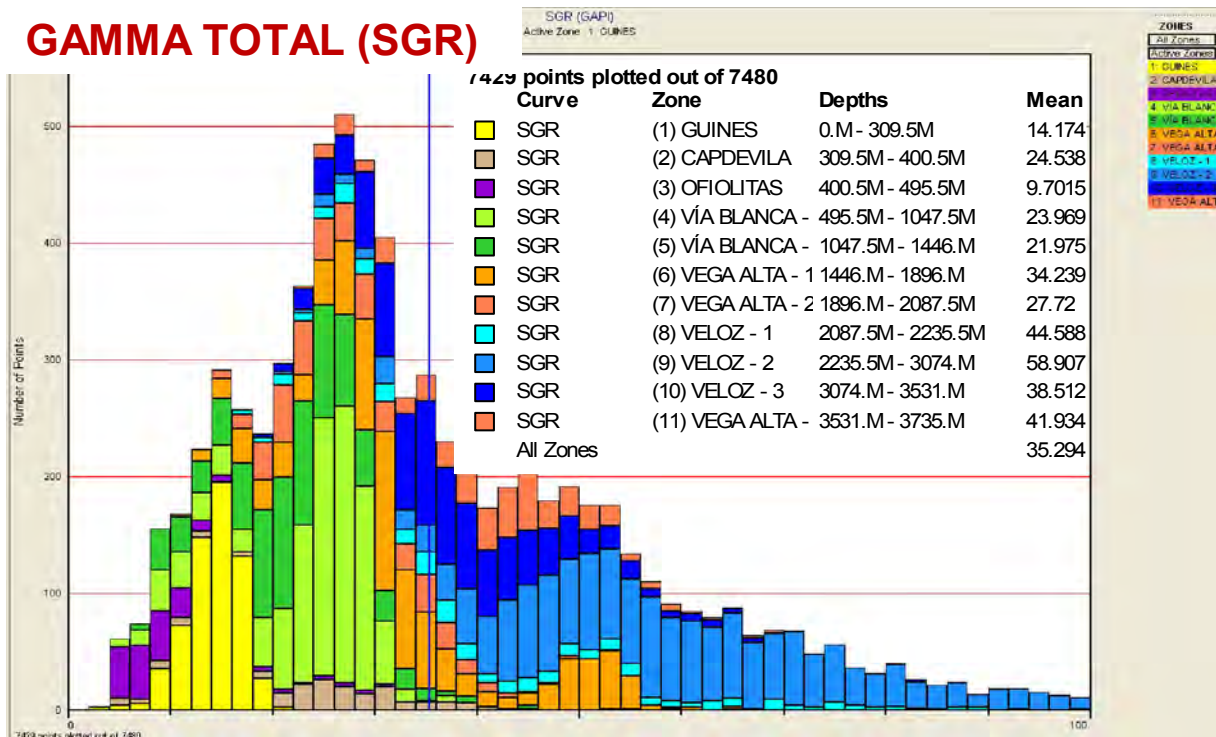


Figura V.9 Comportamiento de las curvas utilizadas frente a cada intervalo litológico.

geológica. Los histogramas de distribución de propiedades se muestran en las (Figuras V.10 y V.11).

El registro de resistividad sólo fue corrido en la zona de hueco abierto (reservorio), mientras que el radiactivo y neutrónico en los tramos abiertos y encamisados. Tanto en las curvas como en los histogramas se observa una clara diferencia entre las unidades de Veloz, carbonatadas, y todas las superpuestas, de carácter clástico pero

## GAMMA TOTAL (SGR)



## POROSIDAD (NPHI)

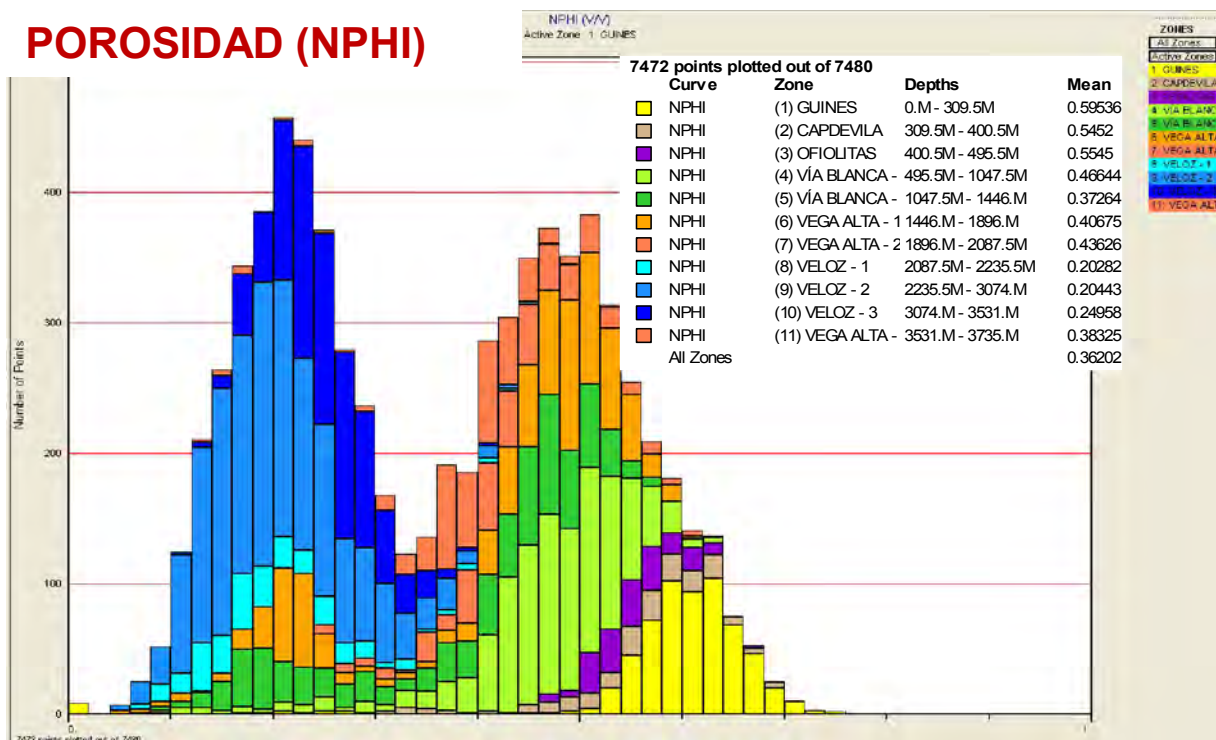


Figura V.10 Histogramas de frecuencias para valores de radiactividad y porosidad de todas las unidades geológicas.

donde el componente limoarcilloso es predominante.

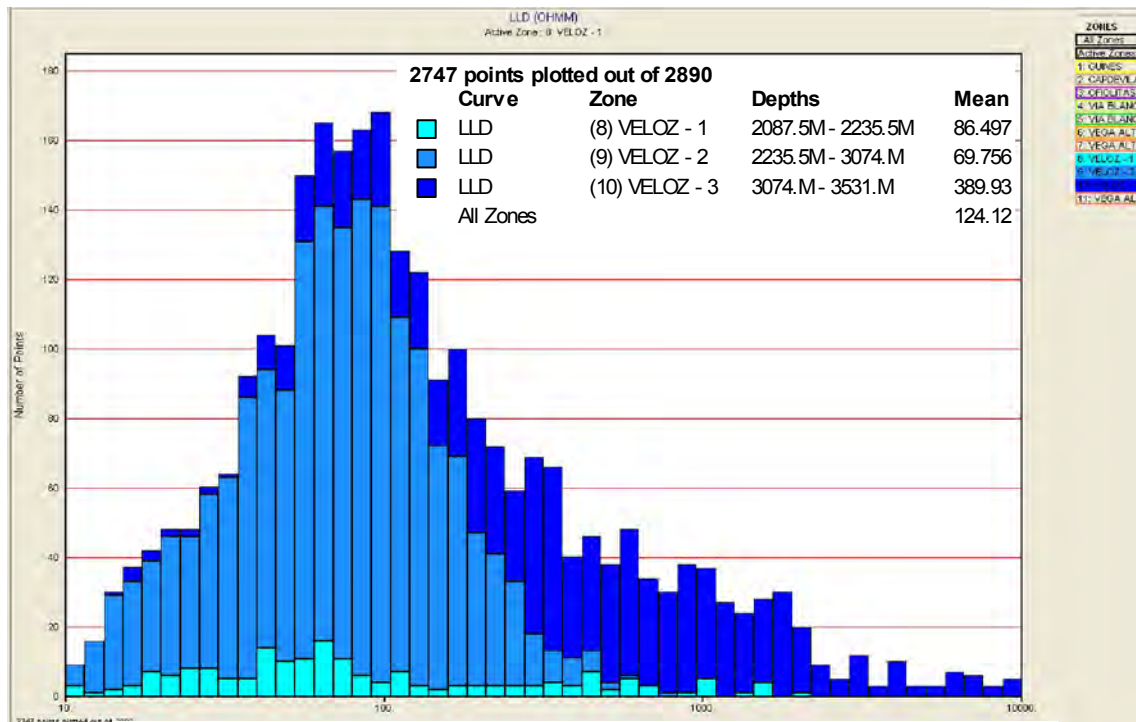


Figura V.11 Histograma de frecuencias para valores de resistividad.

Los valores medios de cada parámetro frente a diferentes formaciones geológicas se muestran en la (tabla V.1).

**Tabla V.1** Principales parámetros petrofísicos para cada unidad geológica.

Formación	Propiedad	SGR	CGR	LLD	LLS	NPHI
<b>GUINES</b>		14.17	11.47	-	-	59.53
<b>CAPDEVILA</b>		24.54	20.01	-	-	54.52
<b>OFIOLITAS</b>		9.7	9.62	-	-	55.45
<b>VÍA BLANCA – 1</b>		23.97	20.62	-	-	46.64
<b>VÍA BLANCA – 2</b>		21.97	17.83	-	-	37.26
<b>VEGA ALTA – 1</b>		34.24	29.73	-	-	40.67
<b>VEGA ALTA 2</b>		27.72	23.6	-	-	43.62
<b>VELOZ – 1</b>		44.59	11.05	65.45	76.32	20.28
<b>VELOZ – 2</b>		58.9	10.93	68.8	51.69	20.44
<b>VELOZ – 3</b>		38.51	8.42	382.94	307.1	24.95
<b>VEGA ALTA – 3</b>		41.93	33.16	6.28	3.74	38.32

A partir de los ajustes de descripciones litológicas y registros de pozo se construyó la tabla de topes y bases (Tabla V.2). Una vez tenida estas delimitaciones de las unidades litológicas se construyó una columna geológica generalizada para el área (Figura V.12), a esta columna se le incorporó su respuesta petrofísica. La leyenda litológica utilizada fue la incluida dentro del software Interactive Petrophysics (Figura V.13), aunque existe consenso en cuanto a estas simbologías. Además un esquema de correlación de los pozos (Figura V.14) que permitió ver la distribución de cada unidad en dirección Oeste-Este. Para este esquema se tuvieron en cuenta tres elementos fundamentales:

- 1- Registros de pozo.
- 2- Litología.
- 3- Fauna detectada en cada intervalo (en trabajos anteriores).

**Tabla V.2 Topes y bases de las formaciones geológicas en los pozos de Canasí.**

Pozos	Topes-LI (m)	Topes-LI (m)	Topes-LI (m)	Topes-LI (m)
Formación	Canasí-3	Canasí-4	Canasí-6	Canasí-9
<b>Güines</b>	0	0	0	0
<b>Capdevila</b>	306.5	309.5	295	358
<b>Ofiolitas</b>	402.5	400.5	330	750
<b>Vía Blanca – 1</b>	441.5	495.5	470	1195
<b>Vía Blanca – 2</b>	948	1047.5	908	1652
<b>Vega Alta – 1</b>	1461	1446	1483	1842
<b>Vega Alta – 2</b>	1910.5	1896	1844	2028
<b>Veloz – 1</b>	2024.5	2087.5	2021	2339
<b>Veloz – 2</b>	2284.5	2235.5	2179	2719
<b>Veloz – 3</b>	2987	3074	3079	-
<b>Vega Alta – 3</b>	3550.5	3531	3561	3464

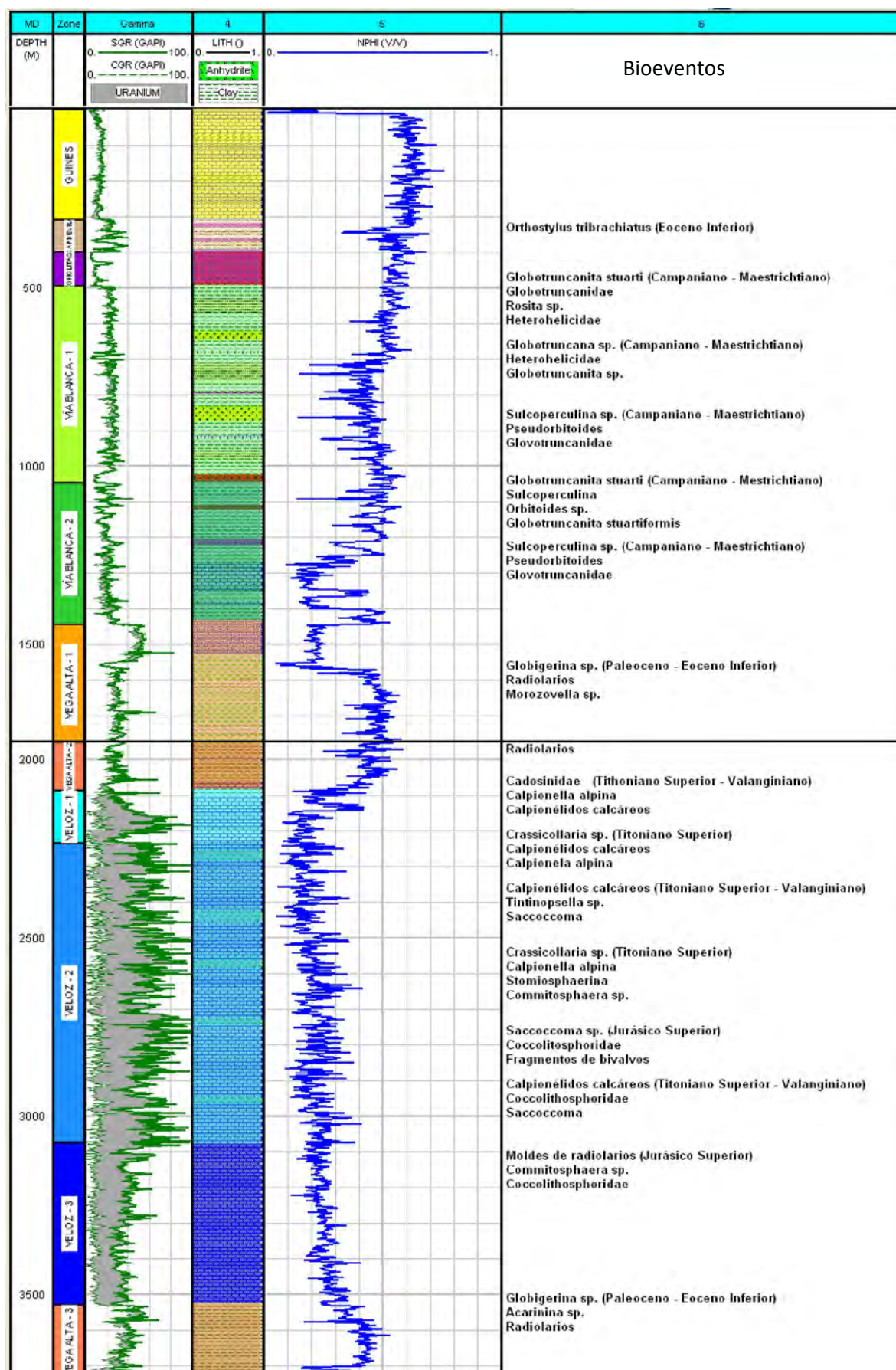


Figura V.12 Columna geológica generalizada para el área de Canasí.



Figura V.13 Simbología para litologías utilizada en la columna generalizada.

Del esquema de correlación y la columna generalizada para el área de Canasí se derivan algunas precisiones:

1. Existe una distribución bastante regular de las unidades geológicas definidas en los pozos. Debido a que la construcción de los pozos es similar el espesor de la mayoría de las formaciones es también parecido.
2. Es evidente el aumento del espesor de las ofiolitas en dirección E-W, observándose en todos los pozos un nivel de aumento de la radiactividad en la mediación del paquete, esto pudiera relacionarse con alguna falla de cabalgamiento que repita los mantos.
3. Sólo existe una sección del reservorio, sin sellos internos de espesor considerable, con aproximadamente 1500 m de reservorios que en su momento inicial estuvieron saturados de hidrocarburos.
4. Toda la sección del reservorio, de acuerdo a determinaciones micropaleontológicas, es de edad Titoniano.
5. Las porosidades registradas dentro del reservorio son excelentes, con valores promedios que superan el 15%.

Del esquema de correlación pueden inferirse conclusiones erróneas acerca de los espesores reales de las formaciones, esto se debe a la proyección vertical de esta sección geológica, por lo que es necesario hacer una visualización tridimensional de estos topes (Figura V.15). A partir de estas proyecciones reales de las direcciones de los pozos se construyó un perfil geológico esquemático que muestra los principales elementos estructurales dentro del campo (fallas de cabalgamiento).

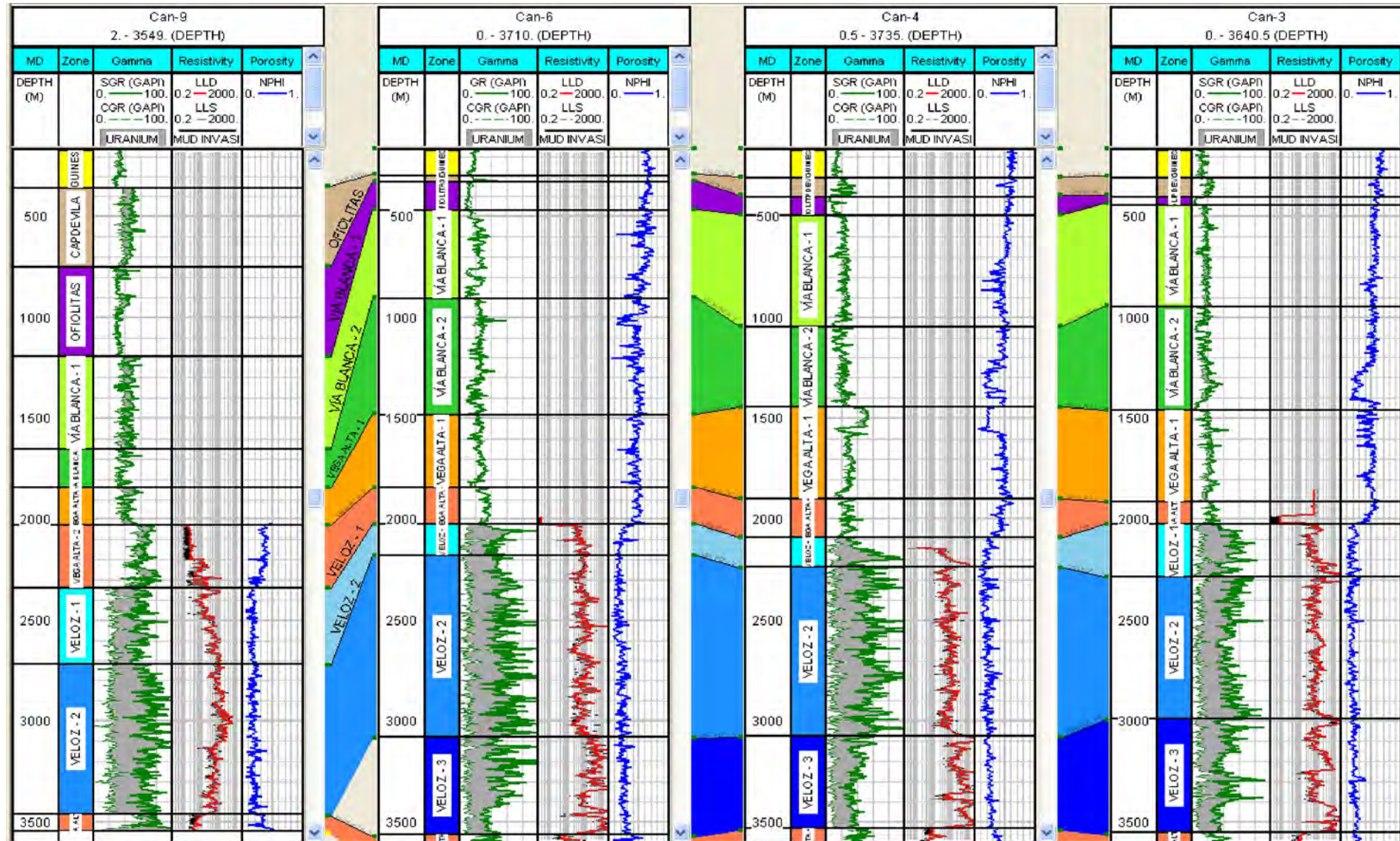


Figura V.14 Correlación de los pozos de Canasí.

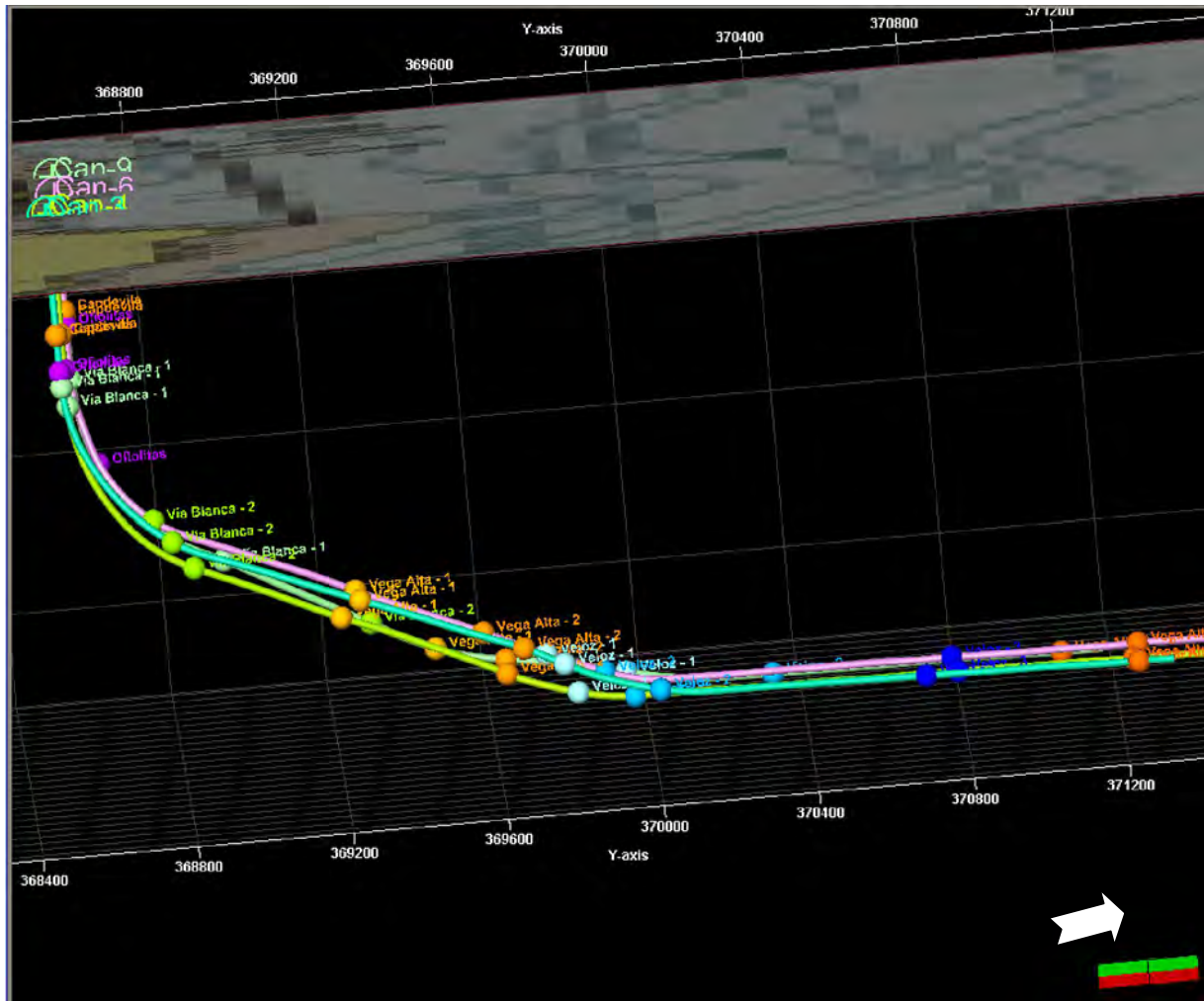


Figura V.15 Proyección de los pozos y topos de las unidades geológicas a lo largo de su trayectoria.

### V.3 Zonas con interés exploratorio en los alrededores de Canasí

Los pozos estudiados en el área de Canasí, aunque son productores de agua en este momento, fueron los de más alta producción de petróleo en el país, con récords de hasta más de 5000 bbl/día en el período 2000-2005. Del análisis de los pozos hecho en el presente trabajo, el esclarecimiento de su constitución geológica, el esquema de correlación obtenido, y la combinación con datos sísmicos (Figura V.16), se obtienen algunas concepciones exploratorias para el área. Por otra parte, existen algunas interrogantes aún no resueltas dentro del sector:

1. ¿Por qué a lo largo de los más de 1000 m de reservorio no se detectaron facies del Kimmeridgiano? Estas tienen un gran desarrollo en las áreas contiguas de Puerto Escondido y Yumurí.

2. ¿Por qué no existen varios mantos separados por unidades sellantes como también sucede en todos los campos de la FNCP? Esto permitiría tener estructuras aisladas, constituyendo sistemas diferentes, más si en la mayoría de los pozos se concluyó en una unidad norteña de Vega Alta.
3. Es evidente la existencia de un manto más profundo de Veloz, atravesado en el pozo más profundo Canasí-100, este se separó de los apilados de arriba por una potente sección de Vega Alta. ¿Existe alguna evidencia en la imagen sísmica de que esta estructura pudiera levantar más hacia el norte?

Las líneas sísmicas que se interceptan con los pozos, aunque no muestran un cuadro ondulatorio bien definido (Figura V.17), puede ser calibrada en alguna medida con los datos de los pozos estudiados. Específicamente en la línea SHE99-024, la ubicada

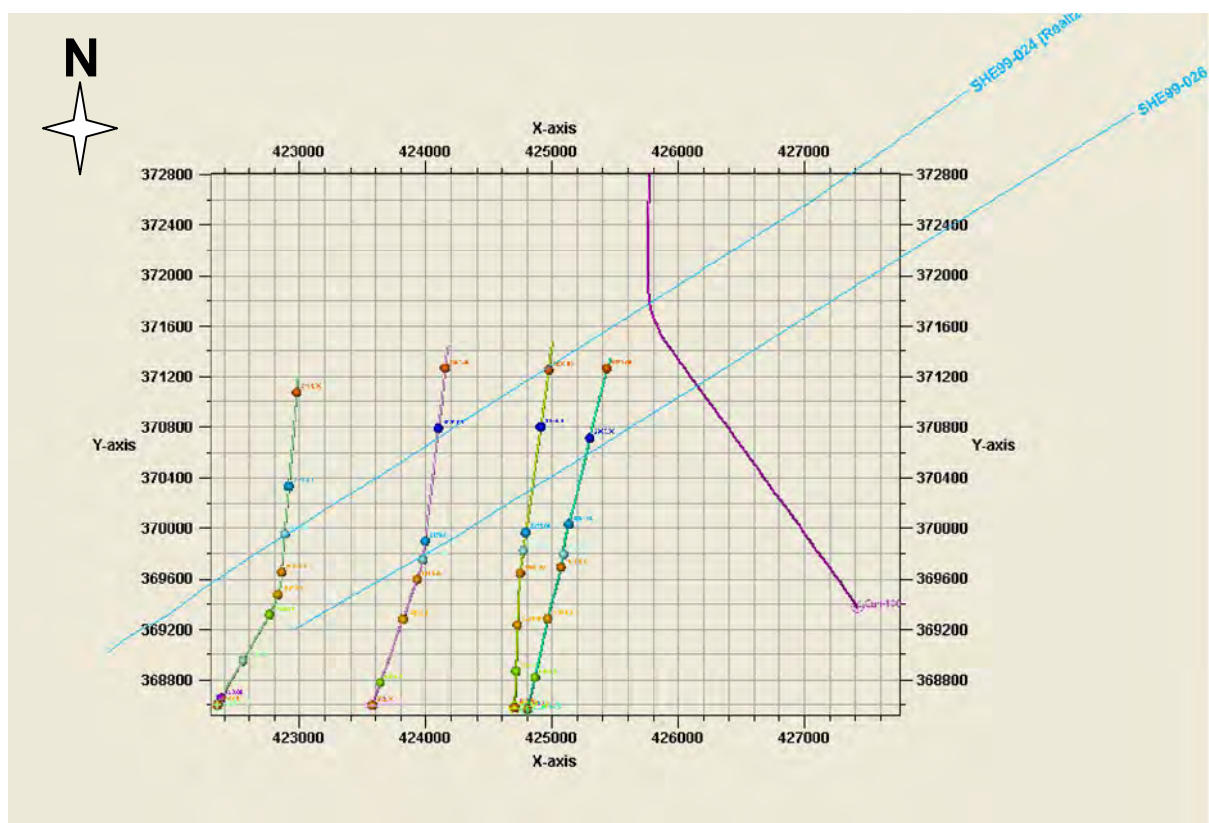


Figura V.16 Proyección en planta de los pozos estudiados y líneas sísmicas.

más al norte, con una dirección NE y que atraviesa la mayoría de los pozos, se puede definir un elemento estructural a partir de la proyección del pozo Canasí-100. Este último pozo fue el único que en el área atravesó dos mantos de Veloz de espesor considerable, separados por un potente intervalo de arcillas de Vega Alta. Dicho

elemento es de una tremenda importancia en el área ya que pudiera demostrar la presencia de hidrocarburos en este segundo apilado, más profundo, pero en una posición estructural más elevada, hecho que se manifiesta en la línea sísmica. El pozo Canasí-100 desde su perforación fue productor de agua en los dos mantos de Veloz: uno superior, ya demostrado en los demás pozos; y uno inferior, pero que fue atravesado a unos 2400 m por la vertical. Dado que los demás pozos terminaron en una sección de Vega Alta, es evidente por la configuración de las trampas en nuestro cinturón plegado, que este manto se levanta más al norte, y la presencia de arcillas aislaría los reservorios. Este elemento está sustentado por la mayoría de los pozos altamente productores de la FNCP, donde la mayoría de ellos tienen varias escamas independientes saturadas de petróleo, separadas por arcillas de Vega Alta. A juzgar por la imagen sísmica, el área de Canasí se ajusta muy bien a ese patrón.

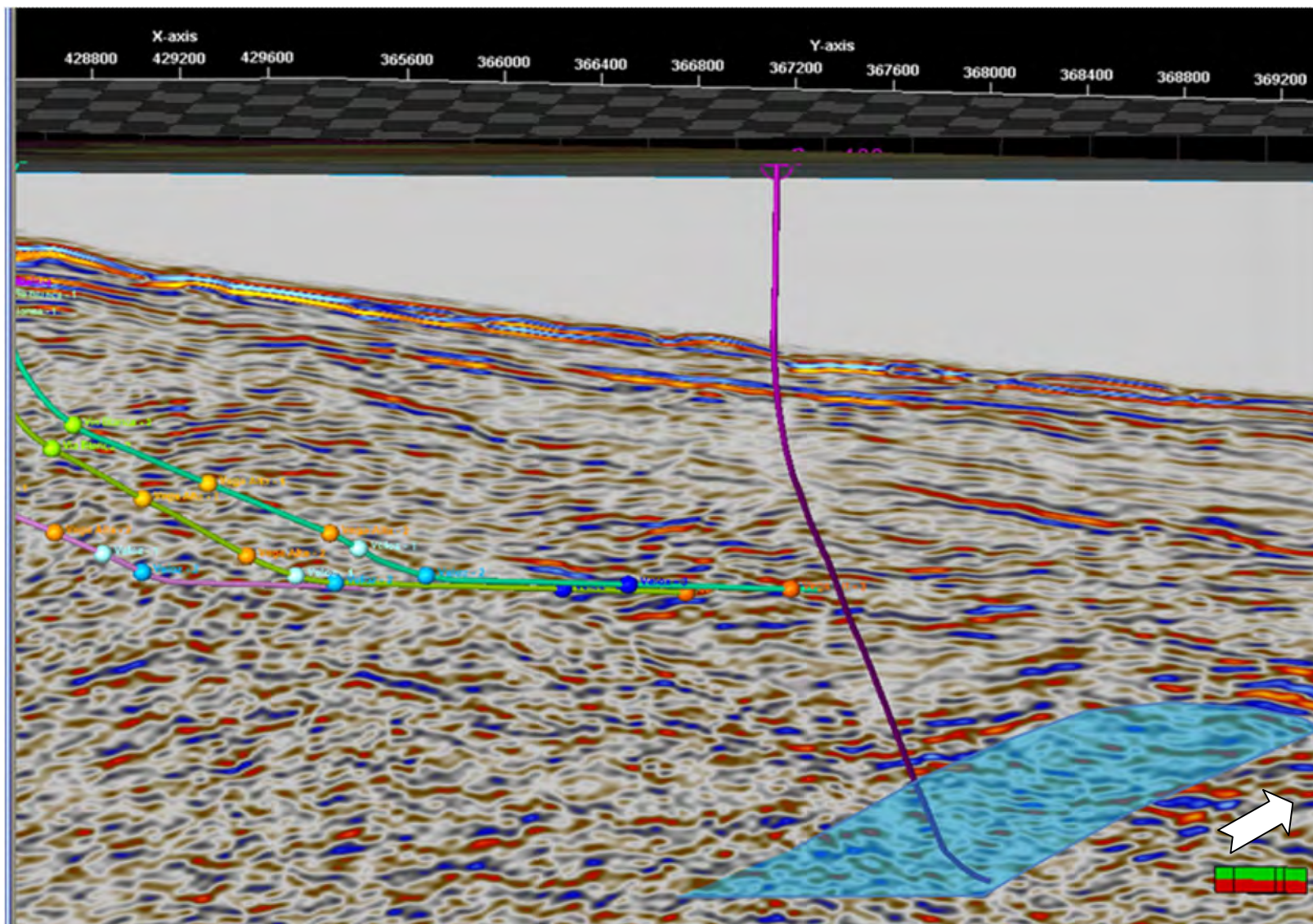


Figura V.17 Cuadro ondulatorio de la línea SHE99-024, proyección de los pozos y estructura con posible saturación de petróleo.

## **CONCLUSIONES**

1. A partir de la integración de datos litológicos, petrofísicos, micropaleontológicos y sísmicos se interpretó la constitución geológica del campo Canasí. Esta se conforma de 3 secuencias fundamentales: secuencia postorogénica (Formación Güines), secuencia orogénica (Formaciones Vía Blanca-Vega Alta-Capdevila) y secuencias preorogénica de margen continental (Grupo Veloz) y del Terreno Zaza (Ofiolitas).
2. Existe muy buena correlación entre los pozos seleccionados para el estudio, evidenciando la continuidad de las facies en dirección E-W. La mayoría de las unidades mantienen espesores similares, excepto las ofiolitas que en sentido E-W aumentan su potencia.
3. Según los registros de pozo y los datos históricos de producción, los reservorios de Canasí tienen una excelente calidad, con valores de porosidad del orden de los 16-24%. Estos registros, en combinación con las características de las rocas, permitieron separar el reservorio en tres unidades: Veloz-1, Veloz-2 y Veloz-3. De ellos el último constituye el mejor reservorio.
4. Aunque la calidad de la imagen sísmica no permite hacer construcciones y perfiles precisos, es evidente que los reservorios saturados de agua en el Canasí-100 tienen un levantamiento hacia el norte, lo que los ubica en una posición estructural favorable para que estén saturados de petróleo.
5. La parte norte del área Canasí, que pudiera ser alcanzada por pozos de 4000 m de profundidad, ofrece el mayor atractivo para la acumulación de depósitos de petróleo hasta ahora inexplorados.
6. De acuerdo a los datos micropaleontológicos que se tienen del subsuelo de Canasí, todo el reservorio tiene una edad de Titoniano. En ningún pozo se llegó a las facies del Kimmeridgiano, lo cual no es característico de las áreas vecinas. Esto constituye un elemento más a favor de la presencia de nuevas estructuras ubicadas más al norte.

## **RECOMENDACIONES**

1. Hacer una reinterpretación de la sísmica del área Canasí en aras de delimitar con más detalle nuevas estructuras saturadas de petróleo, sobre todo en la parte norte del bloque.
2. Re-estudiar con mayor grado de detalle todo lo relacionado al dilema "Cretas Canasí". Esto pudiera ser sustentado por el corte de testigos de perforación en nuevos pozos que se perforen, estos son menos propensos a la contaminación.
3. Aplicar la metodología propuesta en el presente trabajo al hacer estudios integrados del subsuelo en las ramas de Exploración & Producción de petróleo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Albear, J.F., M. Iturralde-Vinent, G. Carassou, N. A. Mayo, L. L. Peñalver (1977). "Memoria explicativa del mapa geológico escala 1:250 000 de las provincias de La Habana", Inst. Geol. Paleont., Acad. Cienc. Cuba, La Habana.
- Albear, J.F., M. Iturralde-Vinent (1983). "Estratigrafía de las provincias de La Habana", En Contribución a la Geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana, Edit. Cient. Tecn. Cuba, La Habana, 12-54.
- Albear, J. F. de; Iturralde-Vinent, M.; Sánchez Arango, J. R. y Franco, G. L.; (1985). Formación Rosario: "Redescripción y estudio micropaleontológico". En: Contribución a la Geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana. Edit. Cient. Tecn., La Habana, :59-76.
- Álvarez, J., S. Blanco et al (2001). Informe final del pozo Canasí-3X. Archivo técnico CEINPET.
- Bermúdez, P.J. (1937). "Estudio Micropaleontológico de dos formaciones eocénicas de las cercanías de La Habana", Mem. Soc. Cubana Hist. Nat. 11 (3): 153- 180.
- Bermúdez, P.J. (1950). "Contribución al estudio del Cenozoico Cubano". Mem. Soc. Cubana Hist. Nat. 19 (3): 205- 375.
- Brey del Rey, D., Blanco, S., Aguilar, A., Gil – González, S., García – Delgado, D., Pérez, L., Morales, C., Medina, A., Flores, A., Castro, O., Rodríguez, M., Villavicencio, B., Sotolongo, A., Rodríguez – Loeches, J., Mejías, L., Perera, C., Menéndez, L., Laguardia, R., Lazcano – Véliz, Y. (2008). Proyecto 2801: "Sedimentos sinorogénicos asociados a la franja norte de Cuba y su relación con los sellos y reservorios". Archivo de CEINPET, La Habana, Cuba. (Versión digital).
- Brödermann, J. y Bermúdez, P. J (1940). "Contribución al mapa geológico de la provincia de La Habana", Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana (inédito).
- Brödermann, N.J. (1940). "Determinación geológica de la Cuenca Vento", Rev. Soc. Cubana Ing., 34:272-315.

- Brönnimann, P., D. Rigassi (1963). "Contribution to the geology and paleontology of the area of the city of La Habana, Cuba and its surroundings", *Eclog. Geol. Helv.* 56(1):193-430.
- De la Torre, A. (1963). "Notas sobre algunos foraminíferos de interés estratigráfico del Terciario Superior de Cuba". Archivo técnico ONRM, Minist. Indust. Bas., La Habana.
- Díaz-Otero, C. y otros (2001). "Léxico Estratigráfico de la República de Cuba" (Inédito). Instituto de Geología y Paleontología. Ciudad Habana.
- Ducloz, C.; (1956; 1960). "Apuntes sobre el yeso del valle de Yumurí, Matanzas". *Mem. Soc. Cubana Hist. Nat.*, 25(1):1-
- Ducloz, C. (1960). "Mapa geológico de Matanzas a escala 1:20 000", Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana.
- Egorov, V., Arjipov, V. (1968-1970). "Levantamiento gravimétrico en la región Habana – Matanzas, escala 1:100000". Archivo técnico ONRM, MINBAS.
- Fonseca, E., V.M. Zelepuguin, M. Heredia (1984). "Particularidades de la estructura de la asociación ofiolítica de Cuba", *Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio* (9): 31-46.
- Franco Álvarez, G. L., R. González García, A. Recio Herrera, G. Furrázola Bermúdez, R. Delgado Damas (1993). "Léxico Estratigráfico de Cuba", IGP, Ciudad de la Habana.
- Furrázola Bermúdez, G.; Sánchez, J.; García, R. y Bassov, V. A (1978). "Nuevo esquema de correlación estratigráfica de las principales formaciones geológicas de Cuba", *La Minería en Cuba, La Habana*, 4(3):36-5.
- Furrázola Bermúdez G. et al (1985). "Generalización estratigráfica de la región occidental de Cuba".
- García – Delgado, D (1979). "Contribución a la geología de la parte occidental de la Ciudad de Matanzas", Trabajo de Diploma, Unidad de ingeniería de Minas y Geología, Minas de Matahambre, Centro de Investigaciones Geológicas, Minist. Indust. Bas., La Habana.

- García – Delgado, D., Delgado, R., Millán, G., Rojas, Y., Peñalver, L., Cabrera, M., Padilla, I., Díaz, C., Torres, A., Furrázola, G., Llanes, A., Torres, M., Pérez, R., Bernal, L., Morales, R., Pérez, C., Stracevich, V., Pérez, R., García, I., Batista, R., Rodríguez, L., Triff, J., Ugalde, C. (2001). “Informe proyecto 2106: Generalización y actualización geológica de la región Habana – Matanzas. Escala 1: 100 000”. Archivo de CEINPET, La Habana, Cuba. (Versión digital).
- González – García, R. (1985). “Generalización estratigráfica del Paleógeno de las provincias Habana- Matanzas”, Trabajo de Diploma, ISMM. Moa, Centro de Investigaciones Geológicas, Minist. Indust. Bas., La Habana.
- Gutiérrez, R. D., G. M. Rivero (1997). “Minigeografía de Cuba”, Ed, Ciencia y Técnica. La Habana. Cuba. 28- 157 pp.
- Hatten, C, W.; Schooler, O. E.; Giedt, N. R. and Meyerhoff, A. A.(1958) “Geology of central Cuba, Eastern Las Villas and Western Camaguey provinces”, Cuba. Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana (inédito).
- Humboldt, A. (1826). “Voyage aux regions equinoxiales Du Nouveau Continent fait in 1799, 1800, 1801, 1802, 1803 et 1804”, Gide, Paris, 2:229-231.
- Huntley, L. G.; (1916). “Geología del área Güines-Bejucal”. Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana (inédito).
- Iturralde, M (1969). “El Neógeno de la provincia de Matanzas”. Publ. Esp. Inst. Nac. Rec. Hidraul., La Habana, (7):3-30.
- Iturralde-Vinent, M.A. (1972). “Principales características de la estratigrafía del Oligoceno y Mioceno Inferior de Cuba”, Rev. Tecnolog., La Habana, 10 (3-4):24-36.
- Iturralde-Vinent, M.A. (1977): “Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platafórmico de Cuba”. Informe Científico Técnico N. 20 , 24 pp. ACC.
- Iturralde-Vinent, M. A. (1996). “Introduction to Cuban geology and tectonics. In: Iturralde-Vinent, M.A. (Editor), Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba (Cuban ophiolites and volcanics arcs)”, IUGS/UNESCO Project 364, Contrib. 1, 3-35.
- Iturralde-Vinent, M., García Delgado, D. E., Díaz Otero, C. Rojas Consuegra. R., Tada; R., Takayama, H., Kiokawa, S.; (2000). “The K-T Boundary Impact Layer in Cuba”. Update an international project LPI Contribution No. 1053.

- Kantchev, I.L; Boyanov, I. Goranov, A. Lolkichev, N. Cabrera, R. Kanazirski, M. Popov, N. Stancheva (1978). "Geología de la provincia de Las Villas. Resultados de las investigaciones geológicas y levantamiento geológico a escala 1:250 000, realizado durante el período 1969- 1975". Brigada cubano- búlgara. Inst. Geol. Paleont., Acad. Cienc. Cuba, La Habana (inédito).
- Kartashov, I. P.; Cherniajowski, A. y Peñalver; 1981. "El Antropógeno de Cuba". Nauka, Moscú,:147 (en ruso).
- Kozary, M.T., P. Brönnimann (1955). "Geological Memorandum MK-3. Geology of the Campo Florido section of the Habana – Matanzas Anticline", Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas, La Habana.
- Labori, H., R. Rensoli (2006). "La identidad de la Ciudad de la Habana, de la provincia y los municipios", estudios en multimedia, Poder Popular, La Habana.
- Linares, E. y A. Lobachov (1971). "Informe geológico sobre las investigaciones de campo en la región Habana-Matanzas". (Manuscrito). Fondo Geológico, La Habana.
- Linares, E.; Osadchy, P.; Dovbnia, A.; Gil, S.; García, D.;García, L.; Zuarzo, A.; González, R.; Bella, V.; Brito, A.; Busch, W.; Cabrera, M.; Capote, C.; Cobiella, J. L.; Díaz de Villalvilla, L.; Eguipko, O.; Evdokimov, Y.; Fonseca, E.; Furrázola, G.; Hernández, J.; Judoley, C. M.; Kondakov, L.; Markovskiy, A.; Norman, A.; Pérez, M.; Peñalver, L.; Tijomirov, I.; Trofimov, V.; Vtulochkin, A.; Vergara, F.; Zagoskin, A. y Zelepuguin, V.; 1985. "Mapa geológico de la República de Cuba, escala 1:500 000". Centro de Investigaciones Geológicas, Minist. Indust. Bas., La Habana.
- Linares E. et al (1986). "Levantamiento geológico a escala 1 :20000 en la zona Cantel – Camarioca". Archivo técnico ONRM.
- Llanes, A. I., S. Cruz Pacheco, M., García Morales, A., Palacio, B (1997). "Petrología y mineralización de la asociación ofiolítica en la región Habana-Matanzas". Archivo de mineralogía y petrografía del I. G. P.
- López, J.G. (1995) et al. "Potencial de Hidrocarburos de la República de Cuba". Proyecto de Investigación 2401. Archivo técnico CEINPET.

- López, O. (2003). "Análisis facial para la evaluación de formaciones en el área de Marbella". Tesis en opción al grado de Máster en Ciencias. Archivo técnico CEINPET.
- Malinovsky, Y. M.; Segura Soto, R.; Fonseca, E.; García, N. y Antonenko, L.; (1974). "Nuevos datos sobre la litología y estratigrafía de los depósitos del Mesozoico y Cenozoico de la costa norte de Cuba (Habana- Matanzas)". *Rev. Tecnol.*, La Habana, 2(12):36-42.
- Meyerhoff, A. A, Hatten, M. G, Norton, P (1957). "Reporte sobre la mina Margot", Inv. 971. Archivo del F.G.N.
- Millán, G., Pérez, C., García, D. (1998). "El cinturón orogénico en Cuba Central". *Geología y Minería* 98. Memoria I, p.423-425, CNIG. IGP.
- Mossakovskiy, A., J.F. Albear (1979). "Estructura del cabalgamiento de Cuba Occidental y Norte e historia de su formación a la luz del estudio de los olistostromas y las molasas". *Ciencia Tierra y Esp. Academia de Ciencias de Cuba*, La Habana, 1:3-31.
- Palmer, R. H. (1934). "The geology of Habana, Cuba and vicinity", *Journ. Geol.*, 24(2):123-145.
- Palmer, R. H (1945). "Outline of the geology of Cuba", *Journ. Geol.*, Chicago, U. S. A., 53(1):1-34.
- Piotrowska, K., A. Pszczółkowski, J. Piotrowski, R. Myczynski, J. Rudnicki, N. Kusniarski, L. Peñalver, L. Franco, N. Pérez, F. Albear (1981). "Texto explicativo para el mapa geológico a escala 1:250 000 de la provincia de Matanzas", Brigada Cubano – Polaca, Inst. Geol. Paleont., Minist. Indust. Bas., La Habana.
- Piotrowska, K. (1986). "Etapas de las deformaciones en la provincia de Matanzas en comparación con la provincia de Pinar del Río", *Bull. Polish. Acad. Sciences*, 34(1).
- Pszczółkowski, A. (1986). "Megacapas del Maastrichtiano en Cuba occidental y central", en *Bulletin of the Polish Academic of Sciences, Earth Sciences*, vol. 34, no. 1, 1986b, pp. 81-94.
- Sánchez J. R. (1979). "Estratigrafía de la Formación Universidad". *Informe Científico-Técnico*, Universidad Habana, :66-85.

- Sánchez, J.R., Bamford, M. y JG. Lopez, 1993 Stratigraphy. In: "The geology and Hydrocarbon Potencial of the Republic of Cuba".SPT/CUPET eds. Proprietary Report.
- Sánchez, J.R., Tenreiro, R. 1996. "Stratigraphy and Geological Evolution of the continental margins in Cuba". South America Mesozoic Correlation, SAMC NEWS, No.5, IGCP project 381, ISSN 1413-6813, Rio de Janeiro, p. 54-57.
- Sánchez, J.R. 2009. "Consideraciones sobre el modelo geológico en el sector Habana – Matanzas en la FNCP". Archivo Ceinpet, 74 pp.
- Sánchez, J.R. (2011). "Una alternativa no catastrófica para los sedimentos fragmentarios del Cretácico Tardío en Cuba". IV Convención de Ciencias de la Tierra, La Habana, 2011.
- Schlumberger. Colectivo de autores. "Log Interpretation". Principles/Applications. Edición 1991.
- Sliter W. V, 1992. "Cretaceous planktonic foraminiferal biostratigraphy andpaleoceanographic events in the Pacific Ocean with emphasis on indurated sediment. In: Ishizaki K. and Saito T (eds)". Centenary of, Japanese Micropaleontology.
- Somin, M.L., G. Millán (1981). "Geología de los complejos metamórficos de Cuba (en ruso)". Edit. Nauka, Moscú. 219 pp.
- Takayama. H., R. Tada, T. Matsui, M.A. Itrulde-Vinent, T. Oji, E. Tajika, S. Kiyokawa, D. García, H. Okada, T. Hasegawa, K. Toyoda (2000). "Origin of a giant event deposit in northwestern Cuba anode its relation to K/T boundary impact", Lunar and Planetary Science. v. 30, abs. 1534.
- Truitt, P., G. Pardo (1953). "Geological Memorandum PT-20. Reconnaissance of Santa Clara, Cuba, Calabazar- Camajuaní – Placetas área", Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana.
- Valladares, S., R. García, D. Brey (1997). "Reservorios carbonatados de Cuba". Proyecto de investigación 2006. Archivo técnico del CEINPET, La Habana.
- Valladares, S., J. Fernández., J. Hernández (2006). "Reservorios Terciarios de la Franja Norte de Crudos Pesados". Proyecto de Investigación 2612. Archivo Técnico CEINPET. II Convención de Ciencias de la Tierra, Habana, Cuba.

- Van Helden, B. G.T. (2004). "Biostratigraphic analysis of three selected core samples of Canasí-2 well". Cuba. Sherritt Oil&Gas. Reporte técnico inédito.
- Zuarzo, A (1984). "Generalización estratigráfica del Neógeno de las provincias Habana-Matanzas". Trab. Dipl. Inst. Sup. Miner. Metalurg. Moa, Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana (inédito).

# **ANEXOS**

## **ANEXOS**

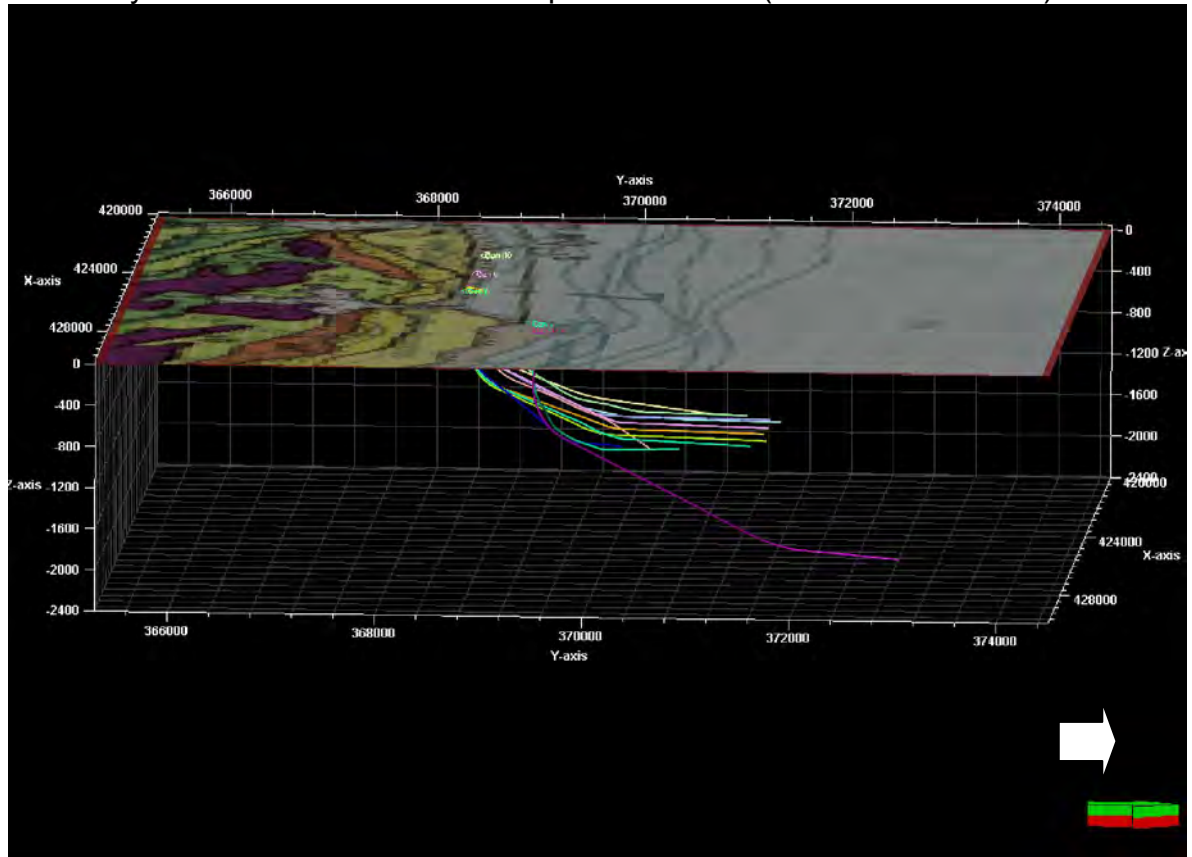
Anexo 1. Zaranda, esta tamiza el lodo y se obtienen las muestras de canal o cuttings.



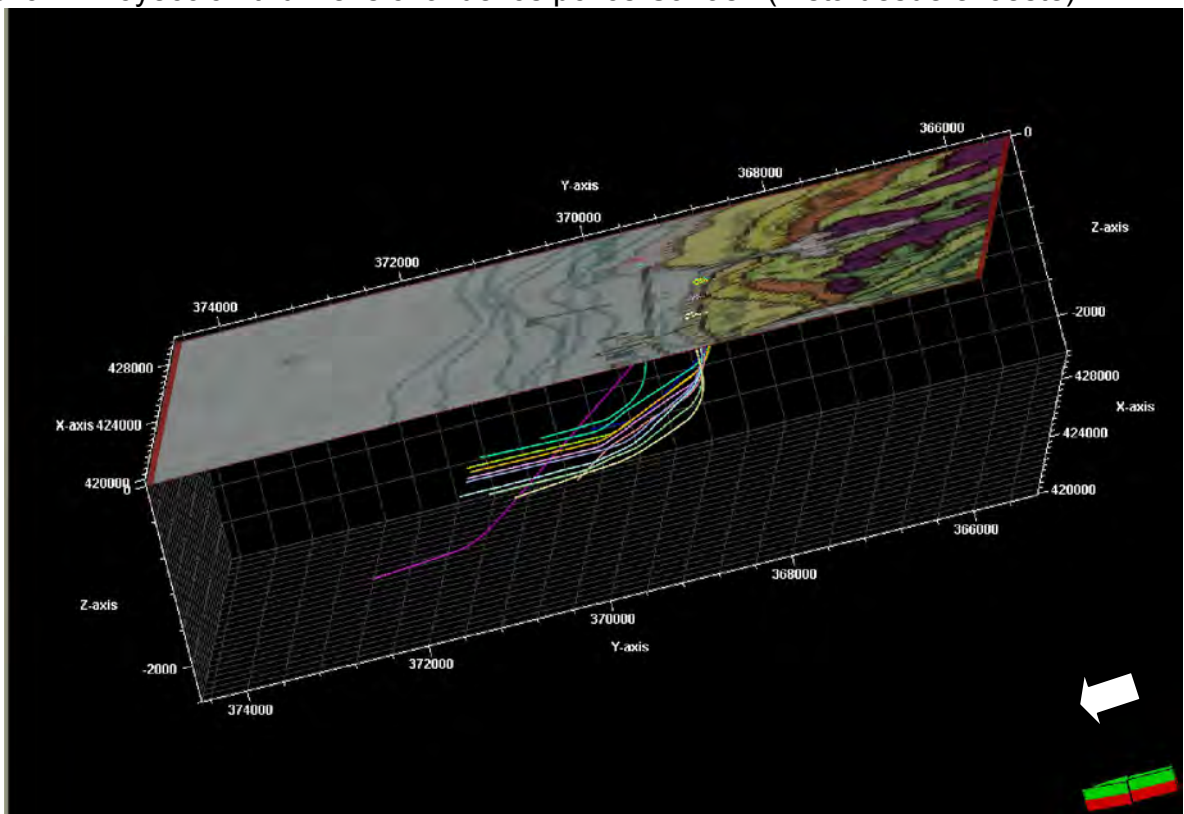
Anexo 2. Microscopio estereoscópico y útiles convencionales para manejo de muestras (HCl, pinzas, portamuestras, puntas de acero y cobre para estimar dureza).



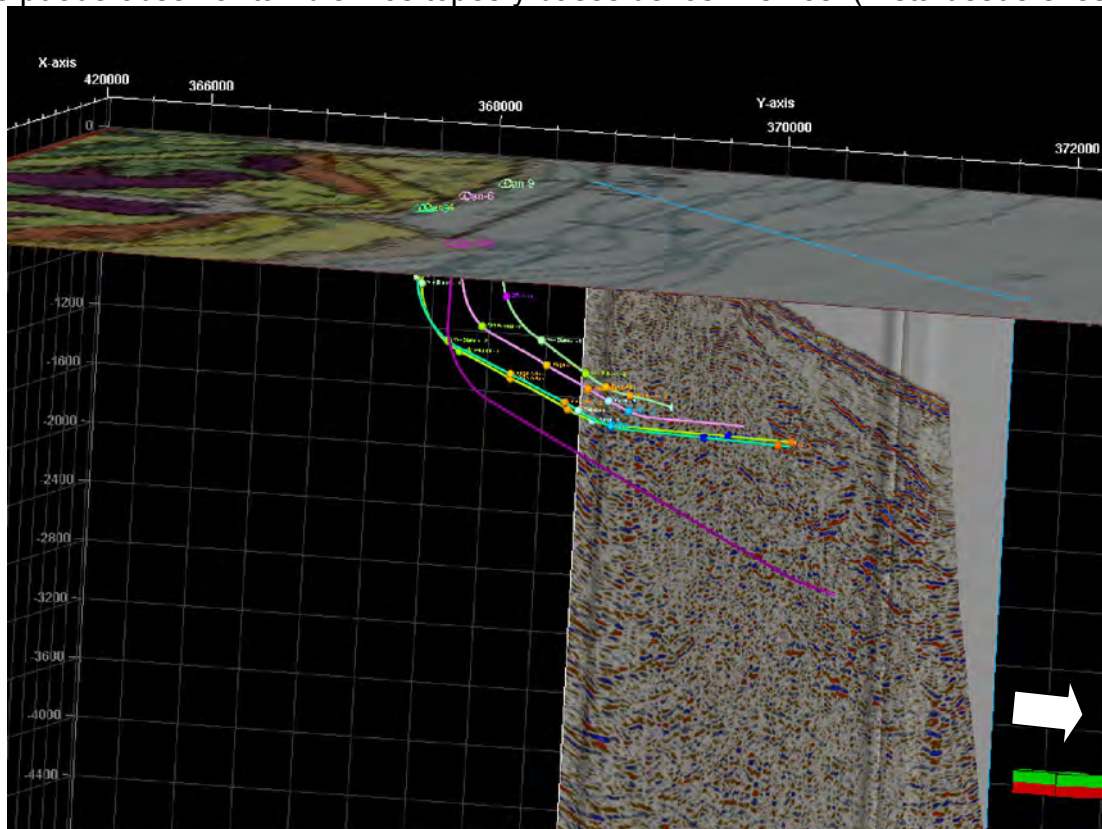
Anexo 3. Proyección tridimensional de los pozos Canasí. (Vista desde el este).



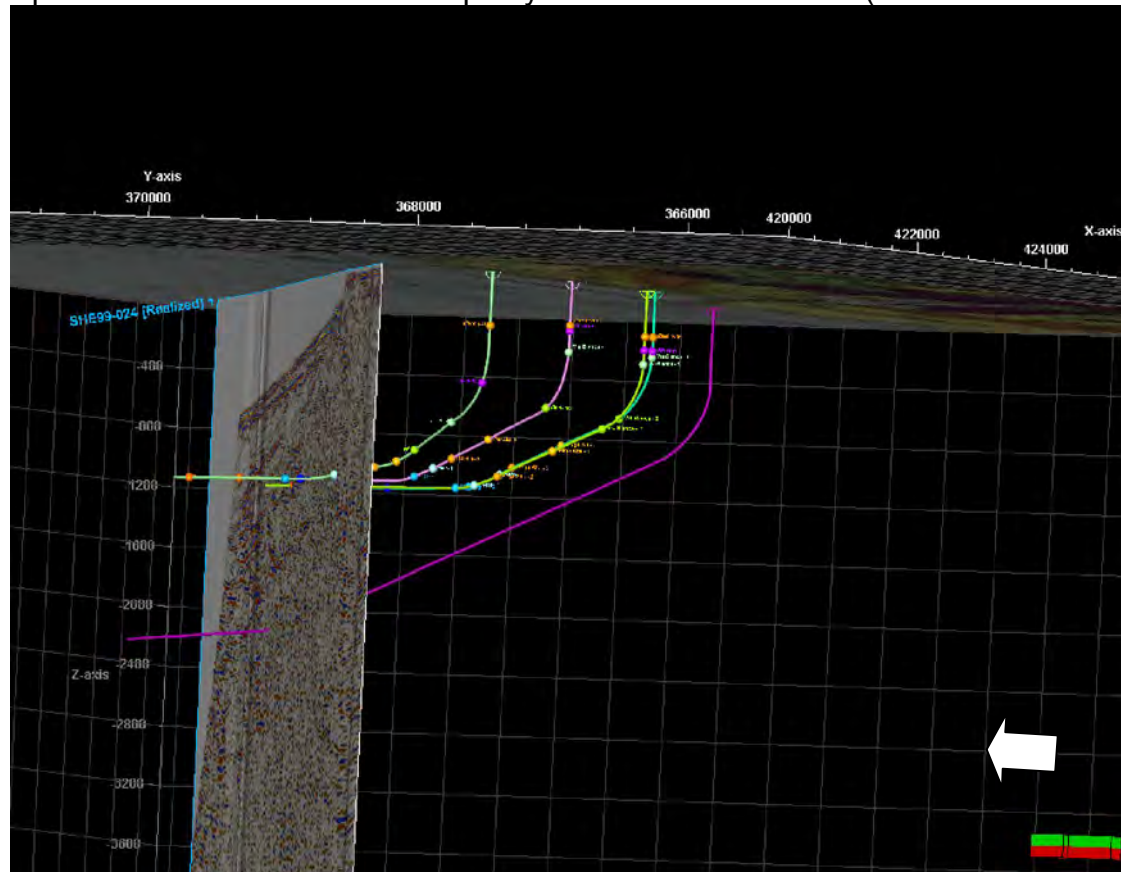
Anexo 4. Proyección tridimensional de los pozos Canasí. (Vista desde el oeste).



Anexo 5. Proyección tridimensional de los pozos Canasí, como cortan la línea sísmica. Se puede observar también los topos y bases de los mismos. (Vista desde el este).



Anexo 6. Proyección tridimensional de los pozos Canasí, como cortan la línea sísmica. Se puede observar también los topos y bases de los mismos. (Vista desde el oeste).



Anexo 7. Proyección tridimensional de los pozos Canasí, como cortan varias líneas sísmicas. Se puede observar también los topes y bases de los mismos. (Vista desde el este).

