



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO DE EXPLORACIÓN DE PLAYS DE EDAD
CRETÁCICA EN UNA CUENCA DE ANTE-PAIS EN
INDONESIA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEÓLOGO
P R E S E N T A
JONATHAN GONZALEZ FLORES

DIRECTOR DE TESIS: ING. JAVIER ARELLANO GIL.



MÉXICO, D.F.

2005

m. 344131



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
60-I- 072

SR. JONATHAN GONZÁLEZ FLORES
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Javier Arellano Gil y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

ESTUDIO DE EXPLORACIÓN DE PLAYS DE EDAD CRETÁCICA EN UNA CUENCA DE ANTE-PAÍS EN INDONESIA

	RESUMEN
I	INTRODUCCIÓN
II	DATOS DISPONIBLES
III	EXPLORACIÓN
IV	RESULTADOS
V	CONCLUSIONES
	REFERENCIAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cd. Universitaria, D. F., a 27 de enero de 2005

EL DIRECTOR

M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GRB*JAGC*gtg

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo profesional.

NOMBRE: González Flores Jonathan

FECHA: 18/mayo/2005

FIRMA:

A mis padres
Fernando y Lupita

A mis hermanas
Martha y Edith

A mis amigos
Salvador, Pilar, Aldo, Benjas, Giovanni, Héctor, Marcos,
Yardenia, Myriam, Liliana, Mike, Fermín, José Luis,
Cesar, Sabrina, Angélica...

A mis hermanos Scouts

Y a mis amigos de ultramar.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Tolson y al Dr. García-Palomo del Instituto de Geología de la UNAM, quienes fincaron el camino de mis inquietudes profesionales.

Al Dr. Mario Guzmán del Instituto Mexicano del Petróleo, jefe y profesor clave, que inició mi interés en la Geoquímica Petrolera.

A los profesores de la División de Ciencias de la Tierra, quienes me capacitaron y con quienes disfruté la geología de campo y en especial al Ingeniero Javier Arellano Gil, quien me brindo sus conocimientos y todo su apoyo, además de dirigir esta tesis.

INDICE

RESUMEN.....	3
1. Introducción	4
1.1 Características generales de este Proyecto.....	4
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Metodología.....	5
1.4 La isla de Irian Jaya y el Mar de Arafura.....	6
2. Datos disponibles	8
2.1. Datos bibliográficos.....	8
2.2. Datos geodésicos y topográficos.....	8
2.3. Información general de los pozos.....	9
2.4. Datos sísmicos.....	11
3. Exploración	12
3.1. Características Geológicas.....	12
3.2. Marco Tectónico.....	19
3.3. Provincias Tectónicas.....	20
a) Zona Central de la Isla.....	23
b) Mar de Arafura.....	24
3.4. Estratigrafía.....	27
3.5. Sistema Petrolero.....	29
3.5.1. Rocas Generadoras.....	29
3.5.2. Madurez.....	29
3.5.3. Roca Almacén.....	30
3.5.4. Roca Sello.....	31

RESUMEN

La Isla de Nueva Guinea esta dividida políticamente, en dos países, la República de Papua Nueva Guinea y por la Provincia de Irian Jaya, perteneciente a Indonesia. El paralelo 141 constituye el límite fronterizo entre estas dos naciones, dividiendo los 900 Km. cuadrados de la isla por partes iguales. Las principales fronteras son: hacia el Sur con Australia, hacia el Oeste con Timor Oriental, y hacia el Oeste con las Islas Salomón y finalmente al Norte, con el Océano Pacífico.

Tres principales periodos se distinguen en la historia geológica de la Margen Continental Australiana: el primero, un periodo de **apertura oceánica** (*rift*, Devónico-Jurásico Inferior), el segundo, un periodo de **margen pasiva** (*passive margin*, Jurásico Superior- Cretácico Superior) y finalmente un periodo de **choque** (*collision*, Mioceno Inferior- Fin del Terciario).

Esta región se encuentra actualmente, en el límite norte de la Placa Continental Australiana, y cercana a un **punto tectónico triple**, la Placa Pacífica, la placa Oceánica Indoaustraliana y la placa Eurasiática. Esta zona tuvo una actividad tectónica fuerte durante el Terciario Inferior, cuando empezó el movimiento de Australia hacia el norte de la Antártica y causa la separación del continente Australiano. En el Mioceno, el continente se movió hacia el norte y cerró el punto triple hasta comenzar la colisión con el Sureste de Asia y los Arcos Volcánicos Melanesios.

La complejidad de las zonas de subducción, micro-placas, fallas (de estilo *strike-slip*), arcos volcánicos y cordilleras, es la expresión de un sistema de placas tectónicas muy alterado que originó colisiones que hasta el momento no han sido correctamente interpretadas.

El interés petrolero de esta región, esta basado en varias cuencas, algunas productoras y otras en exploración desde 1950, con **sistemas petroleros** de características diversas. Estas cuencas se formaron durante y después, del supercontinente Gondwana, cuyas evidencias han sido encontradas al Norte de Australia, en el Mar de Arafura y en los **cinturones plagados** de Irian Jaya. Por el contrario, no han sido identificadas puntualmente en la región, las **rocas generadoras**, pero estas son relacionadas a rocas Pérmico-Triásicas (Devónico-Pérmico?). Por otra parte, las rocas del Jurásico Inferior de la cuenca de Papua se han identificado como rocas inmaduras en varios campos de la zona. Las **trampas estructurales** relacionadas a este sistema petrolero, se encuentran cerca de el cratón o de el cinturón de colisión, identificadas como trampas de edad Mesozoico Inferior y Neógeno Tardío. Las **trampas estratigráficas** se ubican en rocas Paleozoicas y, Mesozoicas. Los espesores de las rocas Mesozoicas, se engrosan hacia el Oeste, partiendo de un horizonte conocido como la **Discordancia Hercyniana**.

En el Norte del Mar de Arafura, las **secuencias sismiestratigráficas**, muestran un basamento estable con características propias de cratón con una edad asignada como Precámbrico, al cual le cubren rocas Paleozóicas, Mesozoicas y Terciarias. Los principales marcadores sísmicos estudiados son: la Discordancia Hercyniana, el **Horizonte Woni** y el **Horizonte Panya**, que se han interpretado como **roca almacén** y **roca sello** respectivamente.

En este trabajo, la Formación Woni fue interpretada geoméricamente como una **cuña regional**, que finalmente fue definido como **trampa estratigráfica de acuñamiento** (*pinch-out*). Las características petrofísicas de estas trampas fue asignado con los datos de el **pozo MAX-1X**, mismo que ayudó a definir los dos miembros de la roca almacén y las porosidades (PHI=19-25%),

Con ayuda de la tecnología de imágenes sísmicas, fueron desarrolladas cartas en tiempo (*charts in time*) y profundidad (*charts in thickness*), para localizar espacialmente la región de trampas *pinch-out* y evaluar su calidad, según sus características estratigráficas. De esta forma, se localizó un área de **trampas potenciales** con dirección NNW-SSE al Sur de la Isla de Irian Jaya y al Este de la Isla de Aru.

La **evaluación de riesgos** para la exploración de un **potencial plays** en esta zona, muestra los inconvenientes que existen y dan una idea de la inversión a realizar a mediano y largo plazo para la explotación de los **potenciales yacimientos**, dejando para futuros estudios, la cuantificación volumétrica de los hidrocarburos económicamente explotables con los que esta región tiene.

1. Introducción

1.1. Características Generales del Proyecto.

Este trabajo presenta los resultados de un estudio de Geología Petrolera de la cuenca de antepaís en su región marina y continental, ubicada entre el Mar de Arafura y la Plataforma Noroeste del continente Australiano. El presente escrito, fue realizado para obtener el título de Ingeniero Geólogo en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, durante el primer cuatrimestre del año 2005.

El proyecto original fue concebido en la compañía francesa TOTAL, quien cuenta con la custodia de derechos de información de pozos, las imágenes sísmicas y los datos de los bloques localizados en el Mar de Arafura donde mantiene constantes programas de exploración.

1.2. Objetivos.

A escala regional, los objetivos son los siguientes:

1. Conocer los límites de cuencas en le Mar de Arafura.
2. Realizar la interpretación estructural.
3. Estudiar las secuencias del Jurásico y Cretácico enfatizando en las características y distribución de las rocas sello y almacén.

A escala local, para la cuenca de antepaís de la región central de Irian Jaya, los objetivos particulares son:

1. Definir la geometría de una potencial zona de trampas.
2. Identificar en mapas, la superficie de las potenciales zonas de trampas de rocas Cretácicas.

1.3. Metodología.

La metodología aplicada en este estudio, tomo como base la síntesis bibliográfica de la cuenca de Arafura y se utilizaron para este fin, diversos tipos de documentos, incluyendo mapas, reportes y publicaciones en formatos diferentes (figura 1.1).

Por otra parte, se continuó con la interpretación sísmica realizada en trabajos anteriores, utilizando el software GEOFRAME TM de Schlumberger; con esta misma plataforma, se realizaron cartas a profundidad (*charts in thickness*), en tiempo (*charts in time*) y se propusieron modelos estructurales a partir de las secciones sísmicas.

El estudio en la zonas de acuñamiento se realizó con la ayuda de los datos y reportes de pozos, principalmente el pozo MAX-1X del cual se obtuvieron importantes datos de petrofísica. Así también se utilizaron secciones geológicas y mapas de diferentes estudios y formatos.



Fig. 1.1. Mapa Metodológico, muestra el orden de investigación del trabajo.

1.4. La isla de Irian Jaya y el Mar de Arafura.

La provincia indonesia de Irian Jaya y la República de Papua Nueva Guinea, comparten por igual la Isla de Irian Jaya (o Papua), cuya frontera se encuentra localizada en la línea imaginaria del meridiano 141° a lo largo de casi 900 km de frontera (figura 1.2).

En varias publicaciones, la apariencia de la isla de Nueva Guinea es comparada con la de un Ave; de esta forma, La Cabeza del Ave, es el área situada al Oeste cerca del meridiano 135°E. El Estómago del Ave es una cuenca y se encuentra al sur del Cinturón Plegado de Irian Jaya y el Cinturón plegado de Papua. La Espalda del Ave, se encuentra al Norte de los cinturones plegados y finalmente la Cola del Ave es la Península de Aure, situada a el Este, cerca del meridiano 145°.

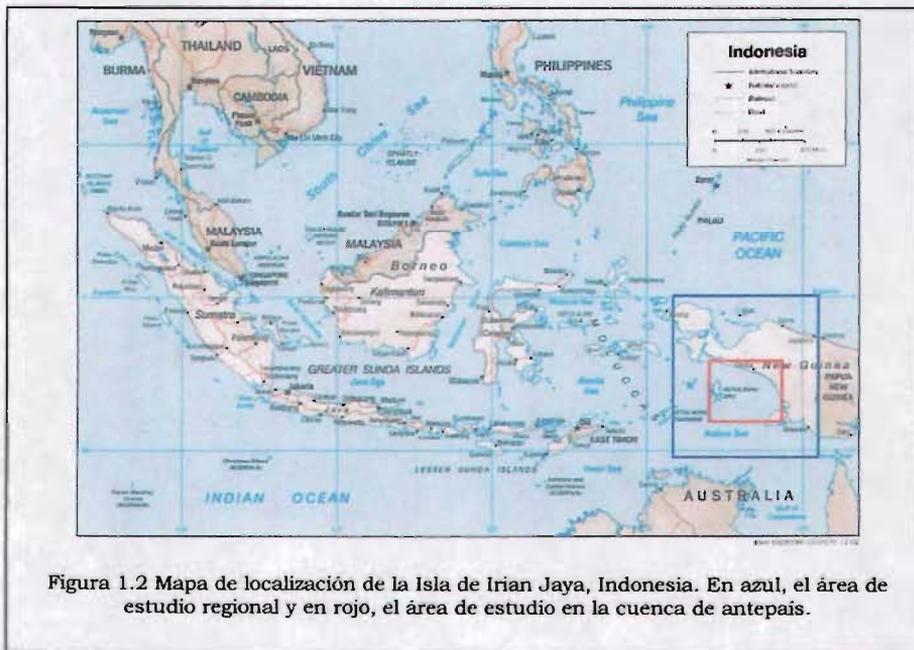


Figura 1.2 Mapa de localización de la Isla de Irian Jaya, Indonesia. En azul, el área de estudio regional y en rojo, el área de estudio en la cuenca de antepais.

El Espinazo de la Isla de Nueva Guinea es formada por un eje identificado como un pliegue mayor, que posteriormente se convierte en un cinturón plegado que se distribuye longitudinalmente en la isla, es decir, desde el cinturón de Lengguru al Oeste, hasta el Cinturón plegado de Aure, al Este (figura 1.2). Los picos más altos en el centro de la isla son: el pico de Puncak Jaya (5,039 m), en Indonesia y el Mouth Wilhem (4,499 m), ambos cercanos al ecuador y con glaciares permanentes en sus cimas.

La extensa cuenca del Neógeno en la zona del Estomago del Ave, es un área llana que abarca unos 10 km de continente con gigantescas áreas de pantanos. El mar de Arafura es una plataforma continental poco profunda que divide a la Isla de Nueva Guinea con Australia, donde la profundidad del mar, no excede los 200 m.

El área de la Espalda del Ave, esta constituida por pequeñas cuencas Neógenas, separadas por sierras de menor tamaño. El basamento, tiene por característica, no ser tan rígido como en la parte del Centro de la Isla y se piensa que es parte de una zona de obducción plana, en donde se han acresionado varios terrenos. Este no es el caso de los extremos de la Isla, ya que no son parte del Cratón Australiano.

La variedad en el paisaje de la isla, es el reflejo de la complejidad geológica, el cual ha sido el resultado de tres distintos periodos tectónicos en la historia de el norte de la Margen Continental Australiana: el periodo de apertura oceánica, posteriormente el de una Margen Pasiva y finalmente el choque de placas o colisión.

2. Datos disponibles

2.1. Datos bibliográficos.

Fueron consultados, sintetizada y analizados publicaciones internacionales, reportes internos de las diferentes compañías petroleras que operan y han operado en el área, además de artículos antiguos y recientes de los temas geológicos abordados.

2.2. Datos geodésicos y topográficos.

El relieve de la región estudiada presenta características batimétricas y topográficas diversas, que son contrastantes tanto en la zona continental como en las profundidades marinas. La topografía muestra elevaciones importantes en el centro de la Isla, como el ya mencionado pico Puncak Jaya de 5039 m, en el cual las pendientes llegan a ser riscos con ángulos rectos. Por otra parte, las pendientes de la zona de montaña, son muy pronunciadas donde el intervalo está entre 40% y 60%, según la ubicación dentro del cinturón plegado, las cuales desaparecen abruptamente al contacto con la llanura costera. La llanura costera se encuentra con un porcentaje de pendiente no mayor 3%, con grandes áreas inundables en el Sur de la Isla.

Por otra parte, la batimetría continua la tendencia de 3% de pendiente en el litoral y varia solo algunos grados en la parte de la plataforma continental, que se extiende de Norte a Sur hasta la costa Australiana. El límite más visible de la plataforma, se encuentra en la trinchera del Arco de Banda, al occidente de la Isla Aru, donde las pendientes en la batimetría, por razones obvias, cambian drásticamente de 3% hasta 20%. Los datos geodésicos que definen la localización de la Isla de Irian Jaya son los siguientes: El Datum es W. G. S 84, el elipsoide es W. G. S 84, la proyección UTM S 84 y la longitud de origen es 135° E.

2.3. Información general de los pozos.

Más de 300 pozos de exploración petrolera han sido perforados en Irian Jaya y aproximadamente 150 en la parte de Papua Nueva Guinea. En el lado indonesio, los pozos han sido perforados en la parte Oeste, en la que a principios de los años 1930's se hizo el primer descubrimiento en arrecifes Miocénicos. AMOSEAS perforó dos pozos en los años 1980's en el centro de Irian Jaya y CONOCO perforó 6 en 1985. En el lado de Papua Nueva Guinea los objetivos de los pozos fueron los horizontes Mesozóicos, constituidos por areniscas con calidad de almacén, denominados Formación Toro, mismos que la compañía CONOCO trato de encontrar en 1985.

El Mapa de Información General del Irian Jaya y el Mar de Arafura (figura 2.1), se muestran los campos en producción actual y los bloques a explorar de la región, así como las principales rocas generadoras (SR), la edad y/o nombre de la roca almacén (RES), y en su caso, la producción de gas o aceite, hasta el año 2000. Como dato extraordinario, se mencionan las compañías que operan algunos campos. Este trabajo, fue hecho en el área que comprende los bloques Amborip y en trabajos anteriores, se han propuesto como roca generadora a unidades estratigráficas de edad Pérmico y como roca almacén, las secuencias de areniscas del Cretácico inferior, conocidas como Fm. Woni.

Para este estudio se utilizó información de más de 40 pozos y más de 15, 000 km de secciones sísmicas continentales y marinas. Se colectaron datos de pozos perforados entre los años 1995 a 2004, incluyendo los datos sísmicos y los datos topográficos. Muchos de estos datos fueron proporcionados por Core Lab, Elf, Bp, Pertamina y principalmente la compañía francesa TOTAL.

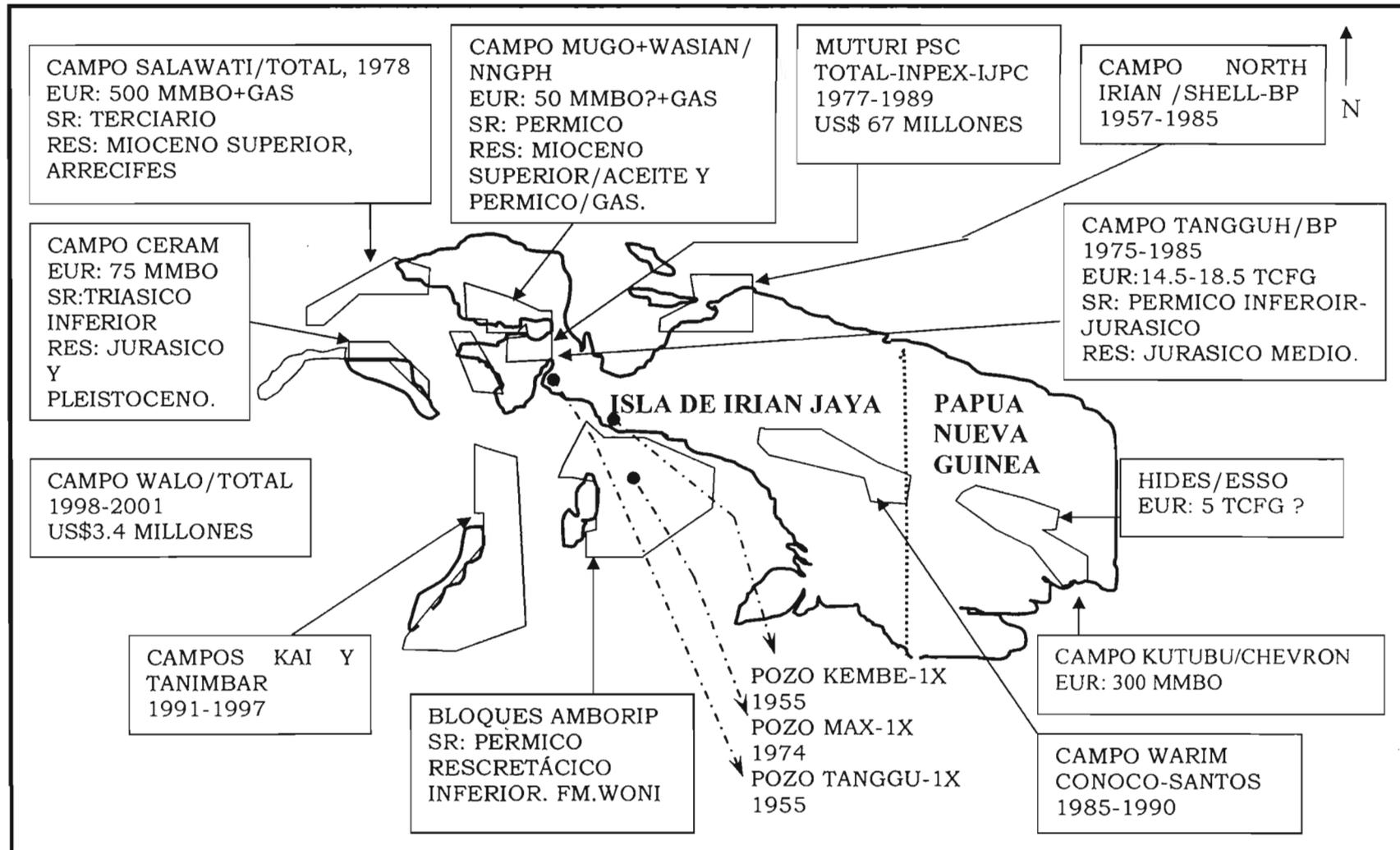


Figura 2.1 Mapa de Información General del Irian Jaya y del Mar de Arafura.

Existe también ausencia de estudios estructurales entre las Islas Banda Arc y las áreas montañosas de Irian Jaya y Papua Nueva Guinea. Los estudios estratigráficos y estructurales regionales son de buena calidad haciendo posible cumplir con los objetivos. La calidad de los datos es generalmente buena, excepto en las imágenes sísmicas de continente.

2.4. Datos sísmicos.

Los datos sísmicos fueron tomados de diversos proyectos (figura 2.2), sin embargo, el tratamiento sísmico, la calibración de pozos y gran parte de las interpretaciones sísmo-estratigráficas, fueron trabajados por varios equipos de la compañía TOTAL y otras compañías. El software utilizado para la interpretación sísmica de horizontes, de mapas de atributos y otros estudios se realizó en la plataforma GEOFRAME de Carisma 4.0.4.2., de la compañía Schlumberger.

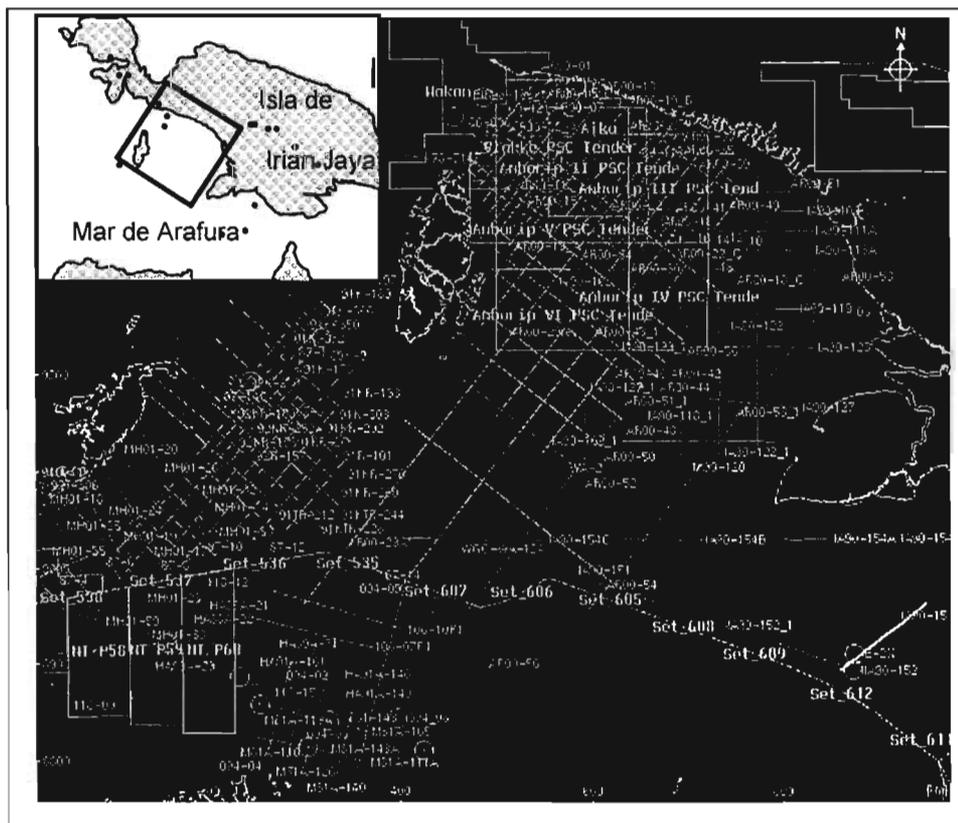


Figura 2.2. Mapa de localización de Campañas Sísmicas realizadas en la región del Mar de Arafura.

3. Exploración.

3.1. Características Geológicas.

En la margen continental al norte de Australia, se tienen interpretados tres periodos principales de deformación que forman parte de la historia tectónica, los cuales son: Apertura oceánica, Margen pasiva y colisión. Estos eventos están bien documentados y reconocidos por la estratigrafía de pozos (Fig. 3.1) y por la estratigrafía sísmica. En la estratigrafía, la secuencia de eventos ha sido conocida como una margen continental con una historia de *rift-drift* que termina con un periodo de colisión tectónica (Pigram y Panggabean, 1984). Existe controversia acerca de la temporalidad de eventos, pero estas cambian de autor a autor, aceptándose dichos eventos de manera general como se ha expuesto anteriormente.

En la exploración geológica realizada, fue necesario trabajar con el registro estratigráfico de 32 pozos exploratorios ubicados en varias localidades de la isla, con los cuales se generó una serie de tablas (Fig. 3.1) de las que se obtuvieron resultados importantes que se plantean en el capítulo 4.

La identificación de secuencias sísmicas y la interpretación de eventos geológicos de Irian Jaya y Nueva Guinea, se presenta de forma resumida en la figura 3.2, donde se hace una pequeña descripción de eventos geológicos y eustáticos que definen las secuencias sísmo-estratigráficas (CoreLab 2001). También se ubican las primeras campañas exploratorias y los resultados de los pozos, seleccionando a aquellos que presentaban secuencias rocosas de interés, con rocas ubicadas temporalmente como jurásicas o cretácicas.

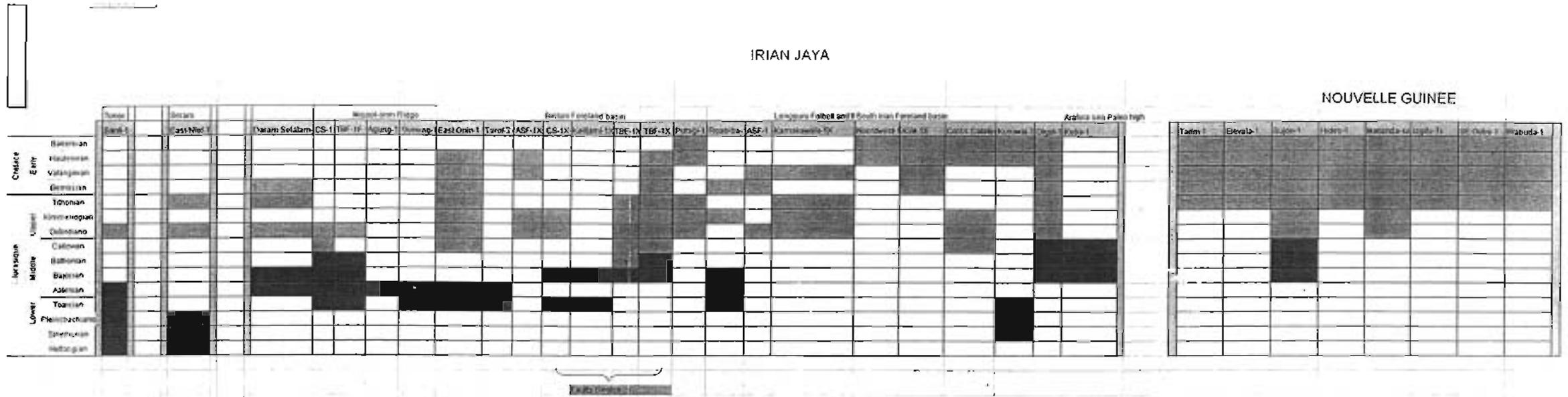
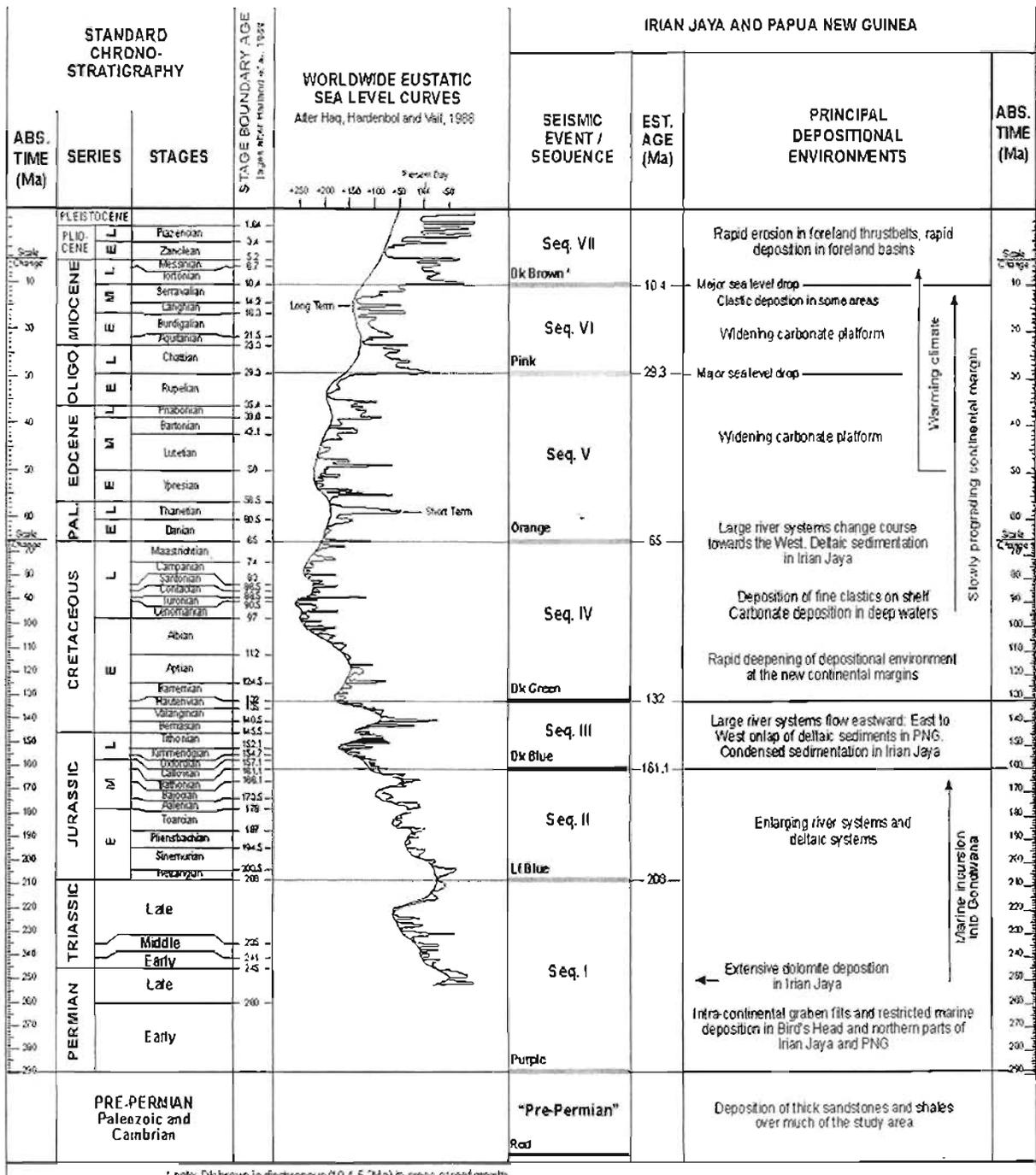


Figura 3.1. Registro estratigráfico de las rocas Mesozoicas en pozos de la región Indonesa Oriental y del Occidente de Papua Nueva Guinea. Las columnas simbolizan los pozos y las hileras marcan la temporalidad aproximada de las muestras recuperadas. Estas celdas de color azul y verde, hacen la diferencia entre rocas jurasicas y cretácicas, respectivamente. La tabla se encuentra dividida en subregiones, de Oeste a Este de la isla, las subregiones tienen su nombre según el cinturón plegado en el que se encuentran y ellos son: en la parte central de Irian Jaya se tiene el pozo MAX-1X, que solo presenta registro de rocas cretácicas como en toda esta región, este no es el caso de los extremos oriente y occidente. Es evidente que los espacios en blanco muestran la falta de continuidad en los registros de rocas de los pozos, y que en la parte central de la zona de estudio, los registros faltantes son debidos a la no depositación y a los efectos de la trituración de rocas a causa de los movimientos tectónicos.

SECUENCIAS SISMO-ESTRATIGRÁFICAS



* note: Dk brown is diachronous (10.4-5.2Ma) in areas of reef growth

Figura 3.2. Principales eventos geológicos de la zona del Mar de Arafura. Son siete las secuencias sismoestratigráficas propuestas por varios autores, además, en este esquema se describen los principales eventos geológicos y las fluctuaciones eustáticas a una escala de millones de años (Core Lab 2001).

La tabla crono-estratigráfica evidencia la existencia de rocas Mesozoicas, específicamente de edad Jurásico Medio y Superior, además de rocas de edad Cretácico Inferior, ubicadas en tiempo y por regiones (Fig. 3.1).

Como parte de este estudio, se realizaron varios mapas que ubican a las rocas jurásicas (Fig. 3.3) y cretácicas (Fig. 3.4) de la región. Estas cartas fueron elaboradas por medio de la correlación de los datos de geología superficial, de pozos en continente y de pozos en la zona marina.



Figura 3.3. Ubicación de las rocas jurásicas en la Isla de Irian Jaya.

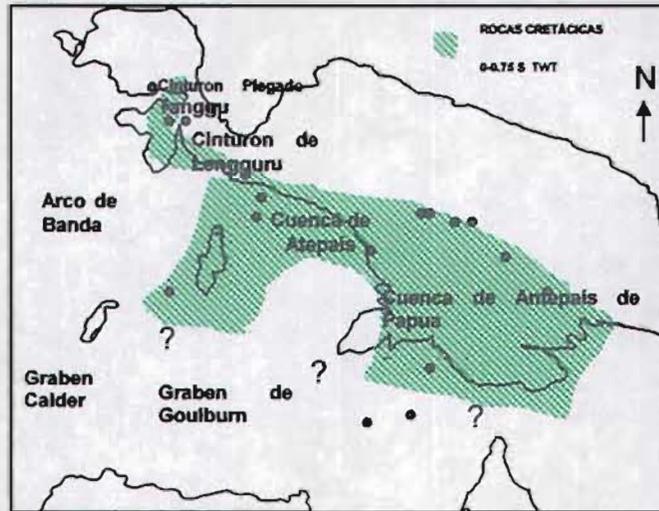


Figura 3.4 Ubicación de las rocas Cretácicas en la Isla de Irian Jaya.

Para las secuencias jurásicas, se identificó su ausencia en la zona de estudio, es decir, no hay secuencias de esta edad en la parte del Mar de Arafura y la parte continental al centro-sur de Irian Jaya, por esta razón se limitó la investigación a rocas de edad Cretácico.

La exploración geológica se complementó con la interpretación de secciones sísmicas, lo que dio como resultado la identificación de tres grandes grupos de rocas relacionadas a los tres eventos tectónicos globales de la región (Fig. 3.5): 1) las secuencias sismoestratigráficas de carácter continental, que responden a una apertura oceánica, 2) las secuencias que corresponden a los eventos relacionados a la margen pasiva y 3) las secuencias que están relacionadas con el choque entre placas.

También en esta parte del trabajo, se utilizó la información de campañas sísmicas ya interpretadas y de buena calidad, para la optimización de tiempo en la interpretación de datos globales (Fig. 3.6).

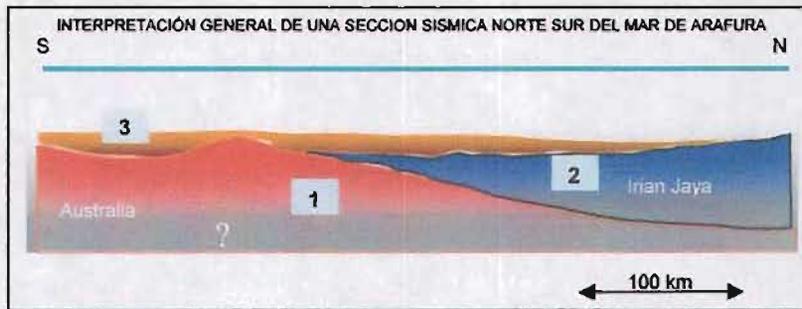


Figura 3.5. Esquema que resume en tres grandes grupos las secuencias interpretadas en el mar de Aráfrica: 1) en rojo, las secuencias proterozoicas y del Paleozoico inferior, 2) En azul, las secuencias del Paleozoico Superior hasta el Mesozoico y 3) la secuencia en café muestra las rocas interpretadas como Mesozoico Superior y Terciario.

Como antecedentes publicados de la zona, se tienen estudios de estratigrafía realizados en la cuenca de Papua, escritos por Home *et al.* 1990, Welsh (1990), y Powis (1993). Otras publicaciones más detalladas acerca de las secuencias estratigráficas de la formación Toro, son presentadas por Hirst & Price (1996) y Madu (1996).

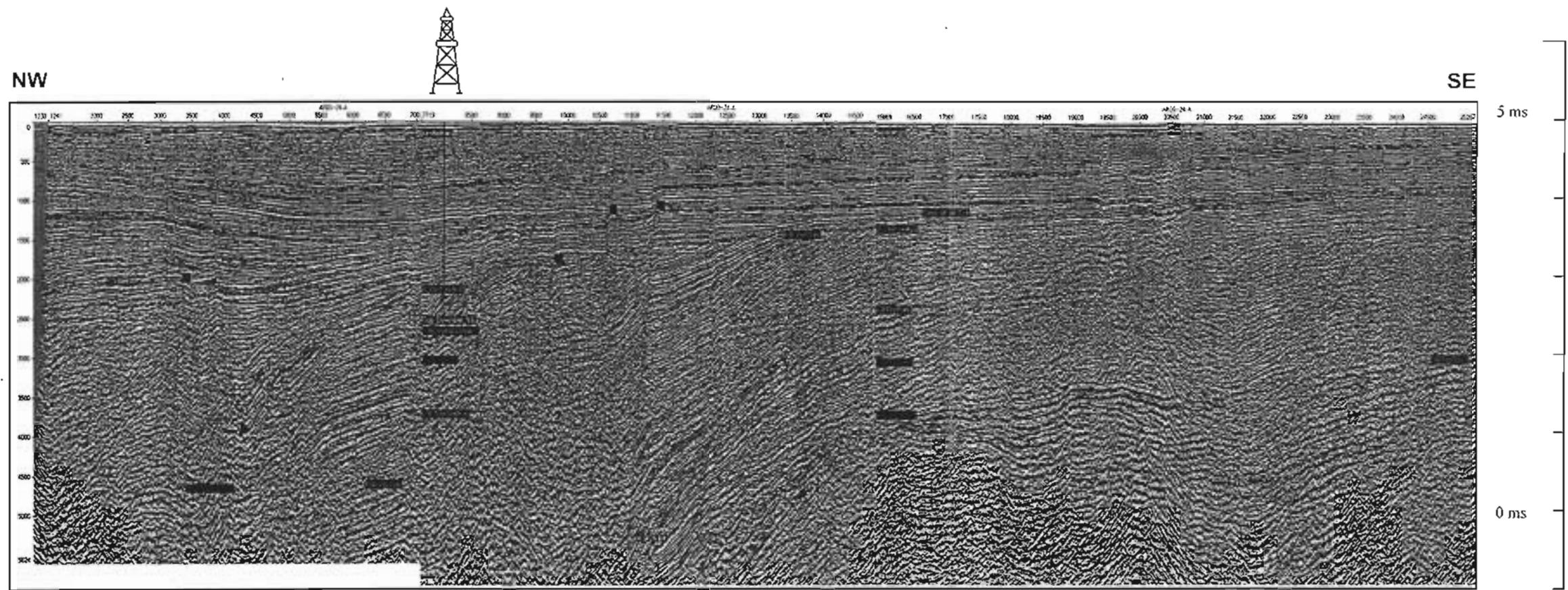


Figura 3.6. Sección sísmica ROOA-compuesta con dirección NW-SE, que muestra a los horizontes interpretados y la localización del pozo MAX-IX, así como su profundidad en milisegundos. Se encuentran señalados, con colores diferentes, los marcadores que identifican las secuencias sísmicas.

3.2. Marco Tectónico

Desde el punto de vista tectónico, la La isla de Irian Jaya /Papua Nueva Guinea se encuentra localizada en el norte de la Placa Continental Australiana, al Este de un Punto Triple, donde se interceptan la placa Pacífica, la Placa Oceánica Indoaustraliana y la Placa Euroasiática (Fig. 3.7). Este punto triple fue originado probablemente durante el Terciario Inferior, cuando el movimiento de la placa Australiana comienza a moverse hacia el norte de la Antártica, hasta separarse cada vez mas.

En el Mioceno Tardío, comienza la colisión de Sur a Norte, después de que la placa se movió al Norte y cerró finalmente el Punto Triple, propiciando la creación de varios Arcos al Sureste de Asia y Melanesia. Las complejas rutas de subducción, microplacas, fallas *strike-slip*, arcos volcánicos, y la creación de montañas, es la expresión de un muy desestabilizado sistema de placas Tectónico que ha continuado hasta nuestros días, sin llegar ha ser cabalmente balanceado.

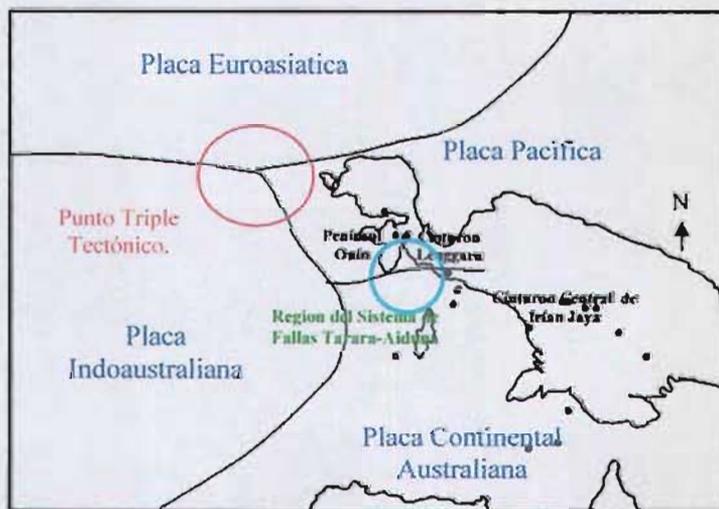


Figura 3.7 Punto Triple, donde interceptan tres placas: Pacífica, Indoaustraliana y Euroasiática.

3.3. Provincias Tectónicas.

Son cuatro las principales provincias tectónicas que se pueden identificar en el área de estudio, (Fig. 3.8), y estas son: 1) La Provincia Oceánica (con basamento oceánico), 2) La Provincia Continental Australiana (con un espeso basamento continental), 3) La Margen Continental de depósitos de tras arco y 4) La Provincia Metamórfica, como parte de la sutura entre la provincia oceánica y la provincia de tras arco.

La provincia Oceánica de la Placa Pacífica y la Provincia Continental de la Placa Australiana, son las principales causantes de la deformación del territorio de la isla. Las demás placas al Este y Norte, son el resultado y muestran gran influencia del choque de estas dos placas tectónicas (Fig 3.8). En términos estructurales se trata de la interacción de dos vectores con fuerzas encontradas de norte a sur y que tienden a actuar hacia los tres ejes espaciales.

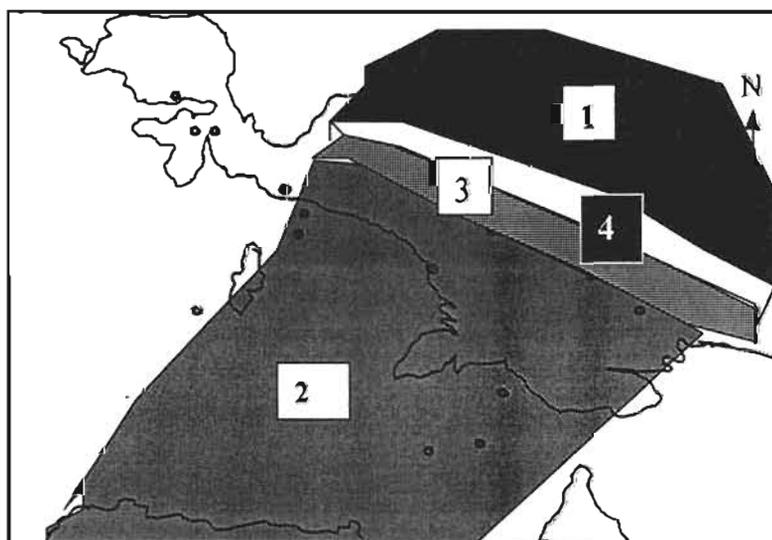


Figura 3.8 Mapa donde se ubican las Principales provincias Tectónicas de Irian Jaya: 1) Provincia Oceánica, 2) Provincia de Basamento Continental, 3) Provincia de Depósitos continentales de tras arco y 4) Provincia de rocas Metamórficas.

Se entiende entonces, que el eje X es el eje de la colisión, el eje Y es el de los cinturones plegados así como en de las suturas y el plano Z, el de la obducción o subducción, según sea el caso.

En la zona norte del área de estudio se encuentra la Placa Pacífica, se compone de una corteza oceánica de Edad Jurásico Tardío y otra de edad Cretácica, la cual se encuentra cubierta por una delgada capa de sedimentos más jóvenes, los cuales no tienen presencia de hidrocarburos.

Desde el punto de vista tectónico, los *plays* Petroleros solo pueden ser formados en las zonas de antepaís y de colisión moderada, donde los procesos de erosión y transporte, así como su sedimentación han sido mas rápidos. Estos sedimentos han formado rocas a partir del Neógeno, mismas que han sido llevadas por fuerzas mecánicas a la ventana de los hidrocarburos, es decir un aumento de temperatura entre los 60° y 160° C, lo cual no ha podido ser modelado adecuadamente por la falta de datos de pozos.

La Placa Continental Australiana esta formada por una zona muy estable ubicada al centro del actual continente y es considerada como Cartón de edad Precámbrica, la cual es cubierta de una manera irregular por depósitos Paleozoicos, Mesozoicos y Terciarios.

El mayor potencial de hidrocarburos dentro de esta placa, se encuentra ubicado principalmente en el sistema de *grabens* que tienen secuencias Paleozoicas y las acumulaciones de sedimento llegan hasta el Mesozoico, uno de estos sistemas de *grabens* tuvo origen a lo largo de la margen continental Australiana en el Mesozoico Temprano. Como un caso representativo, se tiene el *graben* de Goulburn, ubicado al sur del Mar de Arafura con un potencial petrolero importante y en constante exploración y exploración por compañías inglesas y australianas.

La compleja colisión entre las placas Pacífica y Continental Australiana, presenta evidencias en ambos lados. En el norte de esta colisión (Fig. 3.8), existe un cinturón de ofiolitas, que por su naturaleza y localización han sido interpretadas como el resultado de un proceso de obducción, donde la corteza oceánica fue empujada por encima de una parte de la margen continental Australiana. Mientras que hacia el Sur, el depósito de sedimentos se litificaron y se deformaron, originando los cinturones plegados. De esta forma, se tiene que en la zona del basamento oceánico se tienen dos provincias con regiones de colisión compleja. La primera de estas provincias es una zona de choque con sedimentos de la margen continental, no metamorfizados y la segunda con una sutura tectónica, identificada por la existencia de rocas metamórficas oceánicas contra rocas continentales.

Existe una gran área de interés petrolero en esta región, la cual esta comprendida desde la margen Norte del actual continente Australiano, hasta la parte Sur de la zona de colisión. En esta área se incluyen los *grabens* formados por la ruptura del supercontinente Gondwana, de edad Mesozoico Temprano y cuyas fallas normales de extensión, fueron reactivadas durante el Neógeno al momento de la actividad compresiva, desarrollada durante el Neógeno Tardío. Esta reactivación de fallas ha hecho pensar que se trate de un territorio con una "margen continental inversa".

En la parte central de la isla, entre los territorios de Indonesia y en los de Nueva Guinea, se tiene una zona metamorfizada que muestra continuidad con los cinturones plegados, distribuidos a lo largo de toda la isla; como es el cinturón de Lengguru, Papua y el de la Sierra de Owen Stanley, que continúa hasta el arco de Banda. De esta manera, esta provincia tiene muchos elementos para que se dificulte su interpretación estructural. Otro elemento que indica complejidad, es la diferencia de edades en rocas del basamento, éstas han sido descritas como rocas de edad Pérmica, Paleozoica y Cámbrica. Estas rocas han sido interpretadas como parte del basamento Australiano, que ha sido empujado hasta la superficie.

Sin embargo, en localidades proximas, las rocas metamórficas son el producto de la obducción de ofiolitas del Neógeno (Sopaheluwakan, 1990).

En la siguiente parte del texto se describen con mayor detalle y por regiones, los elementos tectónicos antes mencionados.

a) Zona Central de la Isla.

Las imágenes de satélite SAR, muestran una accidentada geología estructural en el centro de la isla, distinguiéndose principalmente pliegues, corrimientos y fracturamientos en las rocas sedimentarias (CoreLab 1997). Al frente del cinturón plegado, se encuentra la cuenca de antepaís que presenta una deformación simple y considerables desplazamientos, y es aquí donde se tienen pozos perforados. Siguiendo se tienen hacia el norte, estructuras individuales que son mas difíciles de reconocer por varias razones, la primera por la ya mencionada deformación, la segunda porque las estructuras están cubiertas con depósitos volcánicos y además, los sedimentos se encuentran parcialmente metamorfizados. Sin embargo los estudios sobre el cinturón plegado del Centro de Irian Jaya son limitados, aunque Kendrick et al. (1997), muestran datos interesantes de la región.

Por el contrario se tienen más datos publicados de otros cinturones plegados de la isla de Irian Jaya; algunos de estas publicaciones tienen su origen en las memorias de las Convenciones Petroleum PNG y otras; así como de investigadores como Smith (1990), Hill (1990), y Buchanan & Warburton (1996).

Considerando la interpretación de estos autores, se puede mencionar que las estructuras más comunes hacia el sur del Centro de Irian Jaya, son los cinturones deformados con pliegues abiertos y bloques caídos hacia el sur. Se tiene una gran discusión sobre las teorías que plantean un basamento deformado o no deformado en la región, aunque los estudios de secciones balanceadas lo aprueban, pero los datos

de los pozos e imágenes sísmicas todavía no lo comprueban, debido a su deficiente calidad.

Sin embargo, todos los investigadores que han trabajado en la región coinciden que la acción de fallas activas del basamento es un elemento que explica de manera más congruente lo que ha ocurrido en la región.

b) Mar de Arafura

La geología histórica del norte del Mar de Arafura se relaciona principalmente a una progresiva subsidencia regional, que ha venido controlando a la plataforma actual, como lo hizo a lo largo de la porción Noroeste de las plataformas Australianas durante el Devónico y hasta el Triásico, donde la profundidad aumentaba de Norte a Noreste.

Se formaron *grabens* en esta área de la cuenca, con una dirección preferencial SW-NE, los cuales concuerdan con la dirección de los *grabens* formados durante el Paleozoico Temprano (*graben* de Goulburn). Estas estructuras fueron sujetas a movimientos posteriores diversos, con compresiones y tensiones, así como movimientos convergentes oblicuos. Por estas razones, hacer correlación en los *grabens* resulta un tanto difícil, ya que el llenado de estos bajos, respondieron al movimiento de las fallas.

Se interpreta que el evento compresivo sucedió durante el Cretácico Temprano, cuando se desarrollaron pliegues, fallas inversas y la reactivación de antiguas fallas: Sin embargo, antes de estos movimientos ocurrieron otros tantos en otras épocas (Pérmico Medio y Triásico Superior-Cretácico). Los últimos movimientos registrados en esta región se ubican en el Terciario, específicamente durante el Mioceno Superior; en esa época, la Placa Pacífica, ocasionó desplazamientos oblicuos convergentes con dirección NW y NNW, afectando al Oeste de Irian Jaya y empujando los territorios del centro del Mar de Arafura para formar montañas y desarrollando fallas con corrimientos siniestros, como en la falla Sorong (cinturón de Lengguru).

Un episodio de apertura oceánica en el Mar de Arafura, empezó con movimientos sujetos a extensión, en el Suroeste, los cuales son identificados por fallas profundas con una dirección preferencial ENE-WSW, evento que reactivó zonas de debilidad en el basamento. Estas debilidades en el basamento, pueden ser heredados de los movimientos ocurridos al Noroeste de la margen continental Australiana, durante el Jurásico Medio y hasta el Cretácico Inferior. El desarrollo acelerado del *rift*, más la actividad tectónica N-S hacen que esta zona sea considerada como un *rift* romboidal. Esta apertura fue interrumpida por la inversión del romboide, la cual fue seguida por levantamientos diferenciales.

En cuanto a las inversiones estructurales, se tienen identificados algunos eventos de esta naturaleza sobre la margen Noroeste de Australia, los cuales ocurrieron durante el Jurásico y el Cretácico Inferior, donde los esfuerzos de intra-placa reorganizaron los depocentros en el Norte de la cuenca, formando *grabens* (Fig. 3.9). Algunas de las fallas existentes fueron rejuvenecidas, convirtiéndose en fallas inversas o de cabalgadura.

En la interpretación sísmica, se identificó un marcador llamado Green Horizon el cual fue basculado por eventos de tensión, ocurridos entre Triásico Tardío y Jurásico, lo que originó el depósito marino en la zona, de edad anterior al Triásico. A partir de este horizonte, se desarrollaron bancos carbonatados, indicando un ambiente de depósito de plataforma marina. Esto ocurrió sobre los eventos ocurridos en el Pérmico, el cual presenta un registro sedimentario de ambientes de plataforma marina y deltas. El área marina de Arafura no cambió de posición, pero sí de ambientes sedimentarios.

La actividad tectónica se puede resumir de la siguiente manera:

3.4. Estratigrafía.

El estudio estratigráfico, tomo como base en una investigación realizada por las compañías Pertamina y CoreLab (1997), en la parte más al Este de Indonesia y en la cuenca de antepaís estudiada en este trabajo. Este contiene la descripción e interpretación de las principales formaciones entre las edades Paleozóico y Cretácico. En la siguiente parte, se describen las cuatro principales megasecuencias sismoestratigráficas que fueron identificadas por medio de diversos estudios de interpretación sísmica, litoestratigrafía, bioestratigrafía y de registros de pozos (En las figura 3.2, se sintetiza lo más relevante).

- Secuencia I. Contiene sedimentos Permico-Triásicos que fueron depositados en grabens, durante los episodios tempranos de la apertura de Gondwana.
- Secuencia II. Fue depositada durante un periodo tardío en la formación de los *grabens*, durante el Jurásico Medio y Superior. Estos sedimentos han sido mejor preservados que los de la Secuencia I. Esta secuencia es relativamente más ancha hacia el lado de la margen continental (Cinturones plegados de Irian Jaya y Papua) y se distribuye en los sistemas de *grabens*. La Secuencia II contiene grandes sistemas deltáicos, así como importantes rocas generadoras y areniscas como rocas almacén. El contacto con la Secuencia III es una discordancia erosiva en la mayor parte del actual Mar de Arafura.
- Secuencia III. Corresponde a una edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior, que contiene a las areniscas de la formación Toro en la cuenca de Papua. La secuencia fue depositada en el periodo posterior que correspondió a la apertura de Gondwana. En el Este de Irian Jaya y la cuenca de Papua, esta secuencia muestra la existencia de sistemas deltáicos, depositados sobre la plataforma continental. Los deltas van más allá de los límites de los antiguos sistemas de *grabens* y se depositaron regionalmente

sobre el basamento. En las partes más distales de la margen continental, como lo es la parte *Cabeza de Ave*, la secuencia es caracterizada por una gran cantidad de hiatus, discontinuidades y secciones condensadas.

- Secuencia IV. Es de edad Cretácico Inferior-Cretácico Superior y su primera unidad fue depositada, después de que la margen continental Australiana comenzó a ser una margen pasiva estable. Las arcillas de esta secuencia forman un delgado horizonte y marcan una diferencia evidente con respecto a los antiguos bloques fallados. La secuencia muestra una progradación monótona, que esta constituida por una sedimentación clástica sobre la plataforma en la margen continental y el depósito de calizas profundas de talud. El depósito continuó sin cambios hasta el fin del Cretácico en el que tuvo lugar un levantamiento en la cuenca de Papua, relacionado con la apertura del mar de Coral, el cual propició una emersión continental y erosión. El límite superior de la secuencia IV es una discontinuidad regional en la cuenca de Papua, aunque ésta no aparece en algunas partes.

3.5. Sistema Petrolero.

3.5.1. Rocas Generadoras.

Las secuencias de rocas generadoras más importantes en la zona, fueron depositadas durante el Pérmico-Triásico y durante la formación de los sistemas de *grabens* en el Jurásico Inferior y Jurásico Medio. Estos últimos, contienen sedimentos con alta cantidad de materia orgánica, con un espesor importante para generar hidrocarburos, quienes están suficientemente bien cubiertas por rocas más jóvenes. Estas rocas en su parte basal se encuentran listas para entrar a la Ventana generación de Hidrocarburos o bien están dentro de ella. De manera regional, se tienen algunas diferencias y poca certeza para definir las rocas generadoras, de las que se enuncia su potencialidad a continuación:

Las secuencias Pérmico-Triásicas son propensas a generar gas, en la parte Norte del la margen continental Australiana. Una de las conclusiones en el Estudio de la Cuenca de Antepaís y el Este de Indonesia (Corelab 1997), fue que la calidad de las rocas propensas a generar gas, mejoran hacia el Suroeste, donde actualmente se tiene producción de hidrocarburos en rocas jurásicas (Plataforma Australiana), en el *graben* de Goulburn y plataforma de Timor) mismas que no aparecen al Norte de la cuenca de antepaís. Por otra parte, en la Cuenca de Papua, no se tiene registro certero de la potencialidad de las rocas de la Secuencia I.

Las rocas propensas a generar aceite se encuentran principalmente en el Jurásico, ya sea en el área noroeste de la plataforma Australiana o en Papua Nueva Guinea.

3.5.2. Madurez.

En muchos pozos del área de estudio se registran niveles de maduración que han tenido un enriquecimiento periódico o picos estables de maduración. Para el modelado

de la madurez fue elaborada la cartografía indicando diferentes niveles, los cuales fueron regidos por los siguientes dos factores principales:

El **primero**, es el espesor de las rocas sedimentarias en los *grabens* Pérmico-Triásicos y las rocas que cubren a éstas localmente, que son de edad Jurásica. Las rocas ubicadas en la parte superior de la secuencia Jurásica que rellenan a los *grabens*, tienen una posición y localización similar a las rocas del Mesozoico. Estas unidades no cuentan con una columna de rocas suficientemente gruesa para ejercer presión e incrementar el gradiente geotérmico de las unidades ricas en materia orgánica, dando como resultado una madurez incipiente en el área.

El **segundo** factor, son los movimientos tectónicos y la acumulación de sedimentarios ocurridos durante el Neógeno Tardío; estos cubrieron las secuencias así como los pliegues y las estructuras ya formadas. El modelo de madurez, muestra que estas jóvenes secuencias en algunas zonas tengan un espesor importante, que puede empujar a las secuencias del Mesozoico Inferior y algunas secuencias de los *grabens* a la ventana de generación de los hidrocarburos.

El llamado *timing* o tiempo de generación y expulsión de hidrocarburos pudo haber comenzado en el Terciario Inferior, según el modelado geoquímico de algunos pozos de la cuenca de Papua y de la Península de Onin, obtenido de las secuencias del Mesozoico de los *grabens*. Sin embargo, los modelos de maduración indican que este periodo de *timing* se desarrolla desde el Terciario Superior al Reciente.

3.5.3. Roca Almacén.

La sedimentación que ocurrió durante tiempos anteriores al Pérmico, tuvo una influencia de ambientes de depósito diversos. Estos ambientes, marinos y no marinos, se ubicaron en áreas geográficas diversas de la margen continental Australiana, son rocas con potencial almacenador con características diferentes.

Las rocas con el mejor potencial almacenador en el área, se encuentra en la Secuencia III (Jurásico superior al Cretácico inferior), y son las areniscas de plataforma de las cuencas de Papua y del Sur de Irian Jaya, quienes tienen un número importante de excepciones. En el Oeste del territorio de Irian Jaya, se tienen areniscas con una calidad calificada como muy buena, con un origen de depósito fluvial, pertenecientes a la Secuencia II, así como las turbiditas y las estructuras arrecifales de la secuencia VII (ver figura 3.2).

Las areniscas de la Secuencia III en Papua e Irian Jaya, tienen su buena calidad como almacén, en la matriz arcillosa detrítica y de los bajos niveles de compactación mecánica. Esta reducción de la compactación mecánica es causa de los efectos de litificación, la cementación parcial del cuarzo y de sedimentos en sobre presión.

3.5.4. Roca sello.

Se tiene una columna estratigráfica con un registro rico en arcillas ubicado en el Mesozoico. Es el caso de sedimentos de plataforma de edad Cretácica, de la Secuencia IV; en la que se registran rocas sello en el territorio de Papua Nueva Guinea y el Este de Irian Jaya. Estas rocas sello no se encuentran en la parte más occidental de la isla, donde son substituidas en algunos casos por unidades arcillosas de edades Triásico, Jurásico y del Neógeno Tardío. La columna estratigráfica del Terciario, es en general, pobre en sedimentos arcillosos, excepto en la cuenca de antepaís del Neógeno Tardío.

4. Resultados.

4.1. Resultados Teóricos de la Geología Regional.

4.1.1. Estratigrafía.

4.1.1.1. Principales características Estratigráficas.

Las principales características complementarias, que se propusieron para el área de la cuenca de Antepaís de Irian Jaya y de Papua Nueva Guinea son:

1) Se tienen dos diferentes tipos de margen continental en el Este y en el Oeste de la Isla. La margen continental del Oeste, se creó durante la apertura del Supercontinete Gondwana en el Mesozoico Inferior, esto muestra la dependencia de aquel evento y la Margen Pasiva entre el Cretácico Inferior y el Neógeno Tardío. Por otro lado, la Margen Oeste fue originada en la apertura del Mar de Coral al final del Cretácico y durante el Terciario Inferior. Se tiene la idea de que la antigua margen continental Australiana tuvo alguna similitud con el actual Mar de Coral. Esta margen continental Mesozoica estuvo probablemente situada al Este de la sección sismo-estructural de la figura 3.6 y donde no existió influencia en los sistemas de depósito en la parte actual del Mar de Arafura.

2) Los sedimentos Paleozoicos y Permo-Triasicos juegan un importante papel en la geología petrolera de Irian Jaya y no así en la cuenca de Papua.

3) La discordancia que marca la apertura de Gondwana en el Cretácico Tardío y durante toda la parte superior de la Secuencia III, es mucho más evidente en la parte oeste de la isla que en la parte Este. En el Occidente, esta apertura es asociada a un *hiatus* y a secciones condensadas, mientras que al oriente no sucede lo mismo. En esta área, la Secuencia III es muy gruesa y contiene areniscas deltáicas y costeras

depositadas sobre una plataforma estable, donde la formación mas representativa es la Formación Sebú. En el Oeste, la estratigrafía contiene algunas areniscas que aparentemente son contemporáneas, pero fueron depositadas en la zona de talud, en un ambiente de inestabilidad tectónica.

4) En el Cretácico Medio y Superior, las rocas que corresponden a la Formación Panya y a la Formación Urei (arcillas), cubren una gran área catalogada como rocas sello, situada en la cuenca de Papua y en el cinturón plegado de Lengguru, creadas en el Terciario. En la actual área de la bahía de Bintuni y mas al Oeste, la Secuencia IV no tiene un buen sello regional, ya que son unidades muy delgadas de depósitos marinos profundos como margas y calizas.

5) Existe una muy pronunciada discordancia entre las rocas Cretácico Superior y Terciario Inferior, además del *hiatus* en la cuenca de Papua, mismo que es registrado en la cuenca de Bintuni. Estas estructuras están relacionadas a la apertura del Mar de Coral, donde un levantamiento influyó en la fluctuación de la temperatura del mar, el cual fue evidente hasta la cuenca de Papua. El levantamiento, fue causado por el un basculamiento general del Norte del continente Australiano. Antes del Cretácico Superior el basculamiento fue en la parte Noreste del escudo, teniendo en esta misma dirección el aporte sedimentario; de donde resultan las Secuencias III y IV. Después del Cretácico Superior, el basculamiento se dio hacia la parte Noroeste, en lo que conocemos como la Cabeza del Ave, depositándose las unidades estratigráficas conocidas como areniscas de las formaciones Emaik y Madar.

6) Las calizas y dolomias del Terciario Inferior (Formaciones Paripi/Famai), tienen un grosor importante en la Cabeza del Ave y en la Cuenca del Bintuni, lo que no ocurrió en la cuenca de Papua o se tiene un espesor mínimo (Calizas Medi). Este evento ocurrió en la tranquilidad de la margen pasiva Oeste de Irian Jaya, mientras que en Papua, la erosión continuó al mismo tiempo de la apertura del Mar de Coral.

7) Las calizas del Terciario Superior, muestran un importante espesor desarrollado en la cuenca de Papua y en la cuenca de Bintuni, causado por la subsidencia termal que sucedido durante el Oligoceno en la cuenca de Papua.

4.1.1.2. Nuevos elementos estratigráficos.

4.1.1.2.1. *Cartas Cronoestratigráficas.*

En la búsqueda de información y durante el procesado de información de los datos de pozos, fue necesario hacer algunas cartas cronoestratigráficas que sirvieron, para comprender la distribución de las rocas en el tiempo (Figura 4.1). En esta carta, se presenta el registro de varios pozos con rocas ubicadas entre el Jurásico y el Cretácico, agrupándolos en dos secuencias: una secuencia Jurásico Inferior y Medio y otra secuencia entre Jurásico Superior y Cretácico Inferior. El área escogida para realizar estas cartas se definió entre la Sierra de Onin-Misool, el mismo Mar de Arafura, el Cinturón Lengguru y el Cinturón de Irian Jaya.

El pozo MAX-IX fue el pozo más importante para este trabajo, ya que muestra las dos secuencias existentes en la cuenca y el marcador sísmico identificado como discordancia erosiva.

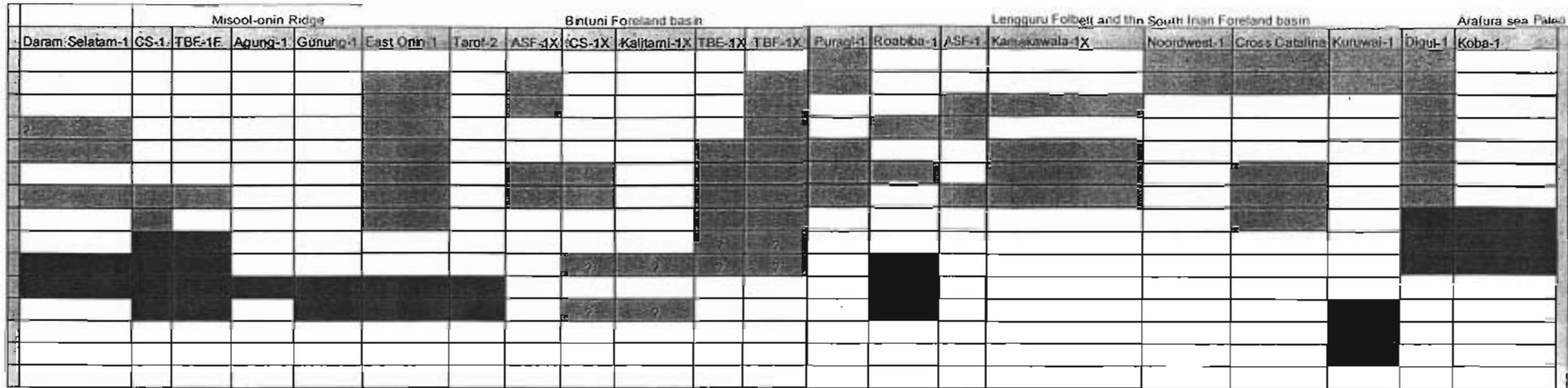
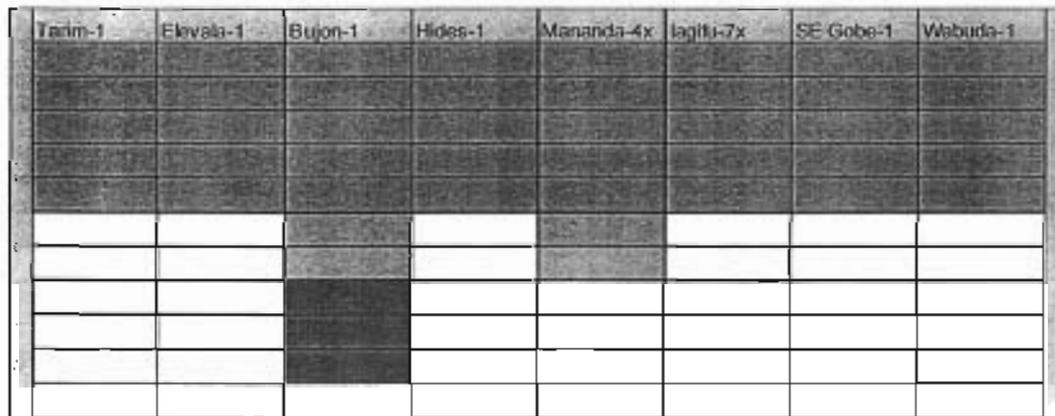
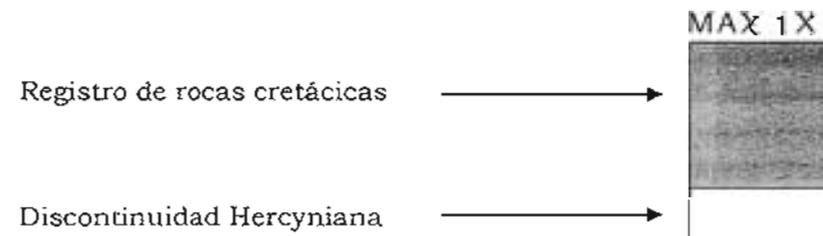


Figura 4.1 Registro estratigráfico de rocas jurásicas y cretácicas en pozos del centro de la Isla de Irian Jaya, las celdas en azul, han sido interpretadas como rocas jurásicas y las celdas en verde como rocas cretácicas. Las celdas en blanco evidencian la no deposición y la falta de datos para poder definir las correctamente.



Registro de rocas jurásicas y cretácicas en Papua Nueva Guinea. Las rocas cretácicas (en verde), son principalmente de las areniscas de la Formación Sebü.

El pozo MAX-1X, localizado en la parte centro-norte en Mar de Arafura, muestra la existencia de rocas catalogadas como cretácicas sobre una discontinuidad o *hiatu* s(en celdas blancas) hasta el Cretácico (celdas verdes).



4.1.1.2.2. *Cartas Estratigráficas.*

Se propusieron tres nuevas columnas estratigráficas en la cuenca de antepais de Irian Jaya, identificándose un área de acuñamiento (Figura 4.2). Estas columnas son resultado del análisis estratigráfico-estructural, tomando en consideración la correlación de unidades de los pozos y de la interpretación sísmica, complementando el trabajo estratigráfico realizado por TOTAL/PN (Figura 4.3).

En estas columnas se plantea la existencia de una discontinuidad erosiva de edad Herciniana, con una progresiva desaparición de algunas formaciones, como principales características. En el pozo JAO-IX (zona costera al Sur de la Isla), no hay registro de rocas Mesozoicas, ya que se tiene el contacto de rocas Paleozoicas (posiblemente hasta del Pérmico) con formaciones Terciarias, que marcan un gran *hiatus*. Esto no ocurre de la misma manera en las rocas de la cuenca de Papua, por las razones antes mencionadas.

En la columna estratigráfica se considera que al Norte de el Mar de Arafura, se encuentra presente la formación Woni de edad Cretácico Inferior, como un depósito que se acuña , teniendo en cambio a las siguientes dos formaciones: La Formación Woni, con dos posibles miembros y la Formación Panya, mismas que se describen en el apartado destinado al yacimiento y trampas. Las regiones en blanco, entre las edades Pérmico y Cretácico, son periodos de no depósito.

La columna estratigráfica (Figura 4.3), muestra características por regiones, resaltando a las formaciones con importancia petrolera, esto es, las areniscas y las lutitas, como posibles rocas almacén y rocas sello así como las principales superficies discordantes.

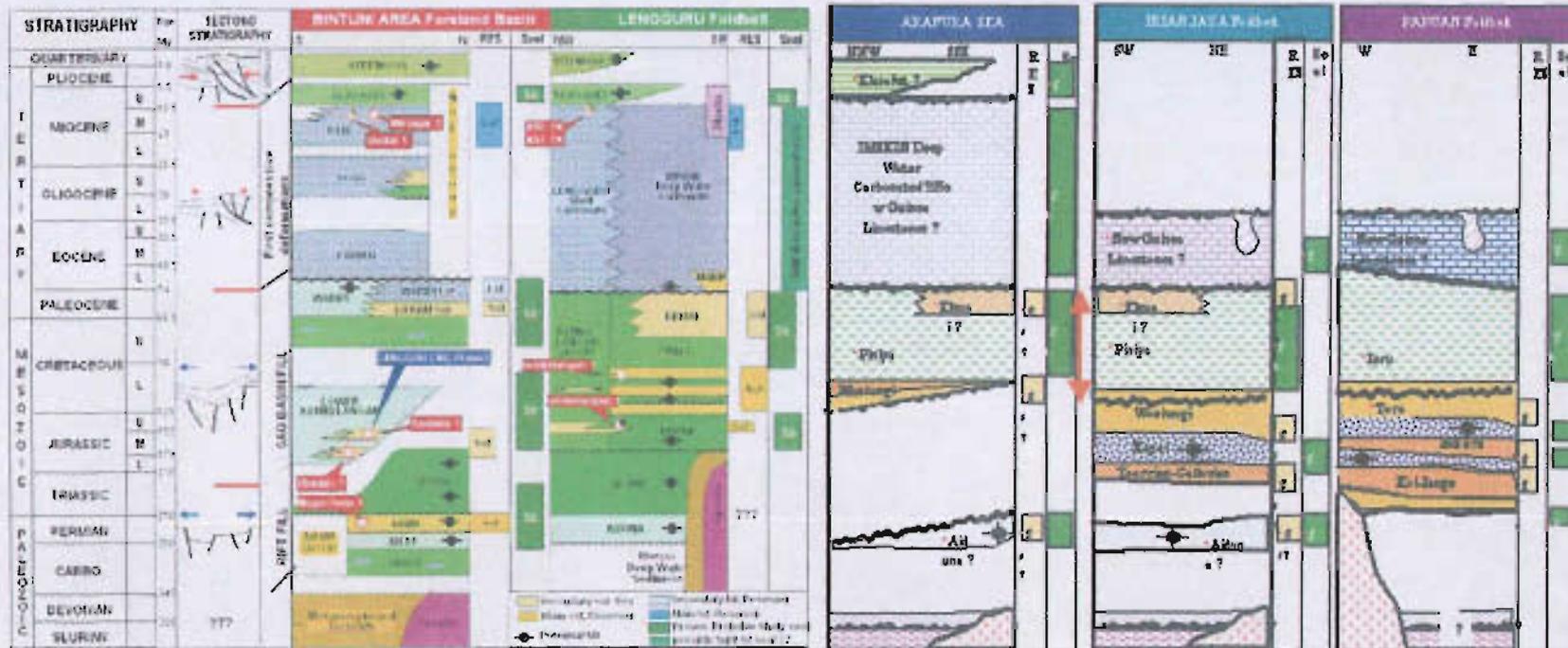


Figura 4.3 Columna Estratigráfica Sintética Regional de las áreas de Bintuni, Cinturón de Lengguru, Mar de Arafura, Cinturón de Irian Jaya y Cuenca de Papua.

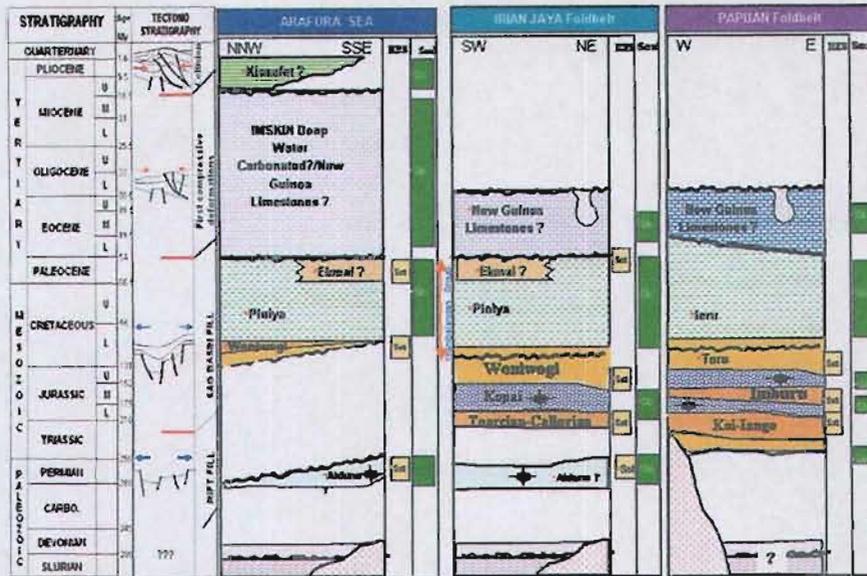


Figura 4.2. Columna estratigráfica de la Cuenca de Antepais en el Mar de Arafura y la Isla de Irian Jayain, en ella de simplifican los eventos de depósito y tectónicos; se hace una evaluación general de sus potenciales yacimientos (Sst) y sus rocas sellos (Sb), según las características de las secuencias estratigráficas.

4.1.2. Geología Estructural.

En la primera parte de este estudio, la Geología Estructural fue enfocada a la comprensión de los eventos Tectónicos y al conocimiento de las provincias Tectónicas de Irian Jaya. Después de la identificación de las principales características de los cinturones plegados de Lengguru e Irian Jaya, se realizó el análisis estructural enfocado al concepto de Sistema Petrolero. Por otro lado, cabe mencionar, que el estudio en la parte marina fue realizado exclusivamente con datos e imágenes sísmicas así como con reportes geológicos internos.

4.1.2.1. El Punto Triple Tectónico.

Como resultado de estos estudios, se llegó a las siguientes consideraciones:

a) Se identificaron rocas con características similares a las rocas del Paleozoico Inferior, con una deformación importante en el área Noreste del Mar de Arafura.

b) Se identificó un área sometida a esfuerzo, relacionada a una falla ubicada entre la isla Aru e Irian Jaya, denominada Falla Tarare-Aiduna.

Esta zona ha sido deformada fuertemente (triturado), su ubicación corresponde con el Cuello del Ave (dirección ENE-WSW), el cinturón de Lengguru (WSW-ENE) y el cinturón plegado del centro de Irian Jaya (que cambia NNW-SSE), con el que choca desarrollando pliegues y fallas inversas.

c) La calidad de las imágenes sísmicas en la zona de esfuerzo no fueron de lo mejor, lo que hizo que se formularan nuevas preguntas para el área de Tarare-Aiduna:

1) ¿Qué tipo de rocas han sido preservadas entre el Pérmico y el Terciario?. 2) Si existen rocas entre esas edades, ¿ Se tienen rocas Jurasicas y/o Cretácicas?. 3) ¿Qué tipo de transición litológica existe entre esta área y la Península de Onin?. 4) ¿Se puede hacer correlación entre las rocas existentes con otro Terreno Tectónico próximo?.

La importancia de estas preguntas radica en la incertidumbre que causa a los investigadores, la existencia de una Cocina de Hidrocarburos cerca de la mencionada zona (Core Lab 2000). La ubicación de ella, cambiaría la ubicación y el cambio de condiciones de fluidos, la historia termal y el potencial de hidrocarburos de esta zona.

En la cuenca de Antepaís, no se tienen problemas con la Cocina de Hidrocarburos, porque el tiempo de colisión es conocido, además de que las provincias geológicas

están bien definidas y la correlación estratigráfica entre los pozos se ha venido realizando hasta en los cinturones plegados, es decir, existe más información.

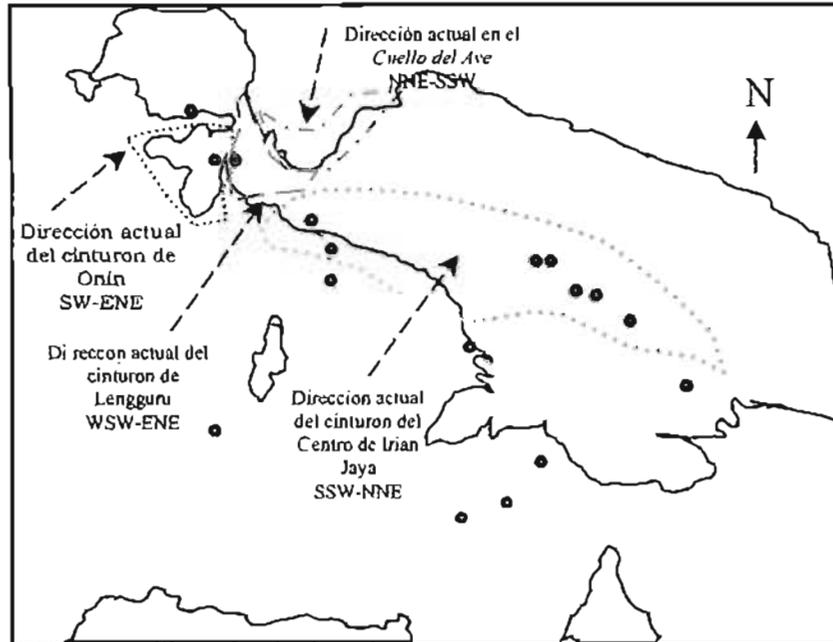


Figura 4.4. Principales direcciones de colisión en la Isla de Irian Jaya.

4.1.2.2. Interpretación y Análisis Estructural de las Secciones Sísmicas.

En el estudio de la secciones sísmicas, la calidad de las imágenes desplegadas por cada línea fue de gran importancia para los trabajos de interpretación sísmica en el *software* de estación de trabajo y también para su interpretación geológica. En la Línea ROOA 42-A (Figura 4.5) se interpretaron las secuencias regionales, sus características sismoestratigráficas y su potencial geológico petrolero (Figura 4.6).

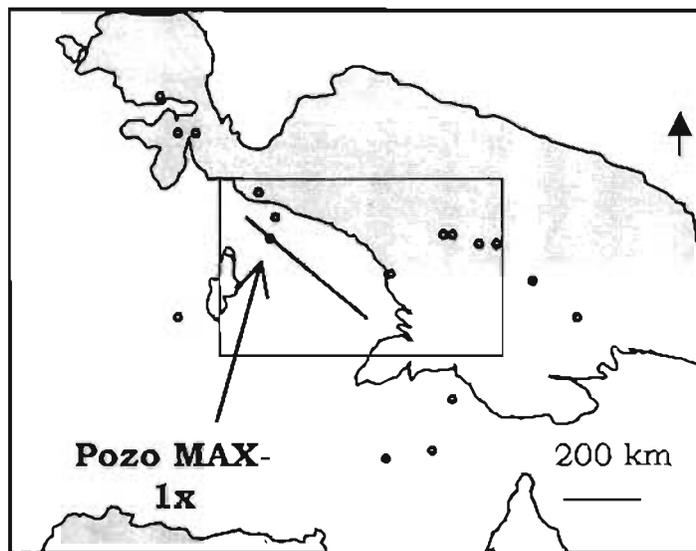


Figura 4.5. Localización de la Sección sísmica G-H y el pozo MAX-1X

La sección ROOA 42-A, muestra las principales secuencias sismoestratigráficas, diferenciadas por varios colores. Debajo de ellas, son visibles las secuencias Proterozoicas hasta el Precámbrico, caracterizadas por un color rojo muy intenso y oscuro en la imagen sísmica, en la parte inferior del SE de la imagen.

En los horizontes marcados como rocas Paleozoico Inferior (Cambriaco?) se presentan líneas semiparalelas de color café con un ángulo variable entre 15° y 30° de NW a SE de la imagen.

Dichos marcadores, son cortados repentinamente por una línea de color verde con una inclinación no mayor a 10° con pendiente hacia el NW. Este horizonte subhorizontal es ubicado temporalmente en el Triásico y conocido como Discordancia Hercyniana.

Entre esta superficie y las rocas límite del Paleozoico Inferior se tienen secuencias de rocas pertenecientes al Devónico y Pérmico, cortadas en algún punto por dicha discordancia (Figura 4.6).

Las secuencias posteriores son Mesozoicas y Terciarias, por un lado se tiene una secuencia del Cretácico Inferior limitada hasta una Discontinuidad erosiva, que da el comienzo a las rocas del Terciario.

Del análisis de la Figura 4.6 a y b, se pueden interpretar algunos episodios de la actividad Tectónica, simplificándose con el registro de imágenes sísmicas una Apertura Oceánica y un periodo de Margen Pasiva. Las fallas ubicadas hasta el Triásico Inferior-Jurásico (de la región) marcan la edad más tardía de la apertura oceánica, el depósito de los horizontes Mesozoicos (muchos de ellos existentes en el área occidental de la isla), plantean la existencia de una Margen Pasiva y los sedimentos deformados y fallados en el Terciario y de edad Mioceno Superior, muestran la existencia del Choque o Colisión. Finalmente se presentan secuencias de áreas de plataforma que continúan estables.

Después del trabajo de interpretación, los estudios geológico-estructurales, fueron complementados con los conceptos de Geología del Petróleo, generando una sección sintética en términos de prospección petrolera. En ella se propone un Sistema Petrolero, con componentes Paleozoicos y con un play de edad Mesozoico.

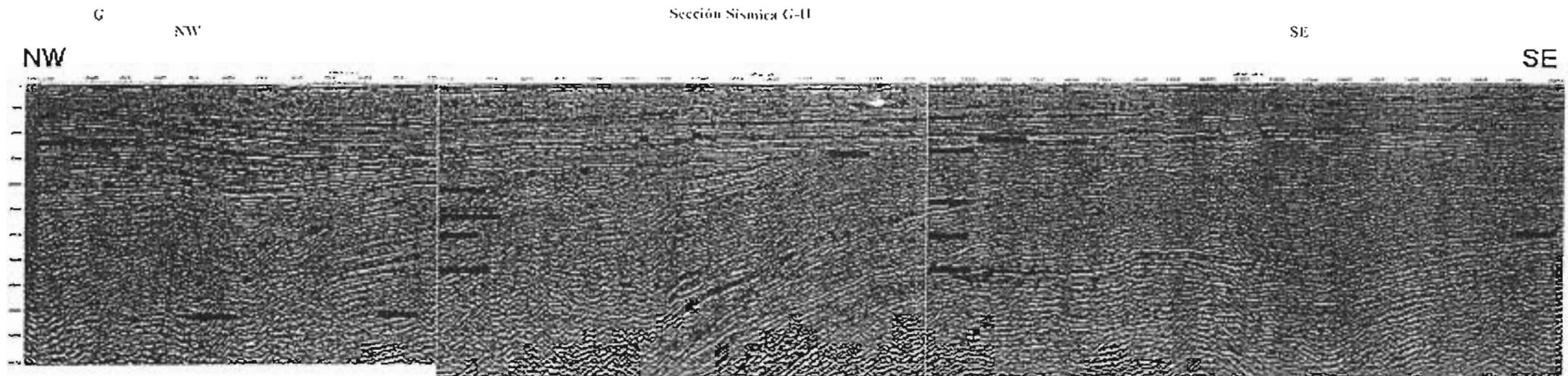


Figura 4.6.a. Sección Sismica G-H y su interpretación por horizontes.



Figura 4.6.b. Sección Sismica G-H, donde se indica la interpretación de los marcadores sísmicos más fuertes, con sus respectivos límites de secuencia; los polígonos con tonos rojos, muestran rocas de edades Proterozoico hasta el Paleozoico inferior. El horizonte verde marca el límite de las secuencias Paleozoico superior y es denominado como Discontinuidad Herciniana y las secuencias que sobreyacen a este horizonte verde (Green Horison), son de naturaleza Cretácico inferior y el Terciario. Las fallas mas importantes, están marcadas dependiendo su estilo estructural y son los testimonios de la actividad tectónica normal e inversa en esta área.

4.2. La unidad estratigráfica Acuñada al Norte del Mar de Arafura.

4.2.1. Localización del Acuñamiento o *pinch-out*.

En la parte central de la cuenca de Antepaís, se continuó con el estudio de los datos sísmicos posteriores a la Discordancia Hercyniana, donde aparentemente en el momento de la colisión existió relativa estabilidad para las secuencias sedimentarias. Desde la discordancia Hercyniana hasta la discordancia límite en el Cretácico Inferior, la continuidad lateral de una unidad de areniscas es evidente, hasta que es interrumpida paulatinamente por su acuñamiento, que finaliza cuando se juntan los dos horizontes erosivos.

El área de acuñamiento tiene una dirección preferencial SW-NE a lo largo de la región marina de Arafura, cruzando hasta la costa de Irian Jaya. En las imágenes sísmicas, el acuñamiento es por lo tanto, ubicado entre las rocas Devoniano-Permicas y las rocas Cretácico Superior-Terciario.

En la Figura 4.7, donde la sección I-J se muestra la mejor imagen sísmica del acuñamiento regional, identificado por el área entre el marcador Azul y el marcador Verde. La línea se encuentra compuesta a su vez, por tres líneas sísmicas a continuación mencionadas ROOA 42-A, ROOA 311 A Y 24-88DS.

En esta sección sísmica se pudo interpretar un *coastal lap* perteneciente a la formación Woni, de la que aparentemente se tienen dos miembros. Esto último, fue propuesto después de hacer una correlación con el pozo MAX-IX, ya que las características sismoestratigráficas registradas en el pozo, evidencian su existencia y conservan lateralmente una señal similar por varios kilómetros.

La ampliación de la imagen y el Modelo estratigráfico, se presentan en la figura 4.8, 4.9 y 4.10, donde se extrapolan los registros del pozo, ya interpretados, contra las de la imagen sísmica, identificándose lateralmente el horizonte de areniscas. Además de esta imagen, se plantea un esquema de yacimiento, donde se hace hincapié en la roca almacén, roca sello, límite inferior y los límites costeros o *coastal lap*. Se reconocen dos miembros para la Formación Woni el primero interpretado en la figura 4.8.

Usándose la misma técnica, se continuó la investigación para el segundo miembro de la Formación Woni con dirección SE (Fig 4.9). El resultado fue similar, el segundo horizonte arenoso de la Formación Woni, está en contacto subyacente con la discordancia límite entre el Mesozoico y el Paleozoico; además se identificó la posible roca sello que corresponde a la Formación Panya. El miembro de areniscas es considerablemente más extenso, pero con un espesor menor con respecto al primer miembro.

Posteriormente se hizo un estudio complementario sobre los datos de petrofísica del pozo MAX-IX, ubicándose porosidades definidas entre moderadas y buenas, es decir entre 19- 5% PHI, para los miembros de la Formación Woni (figura 4.10).

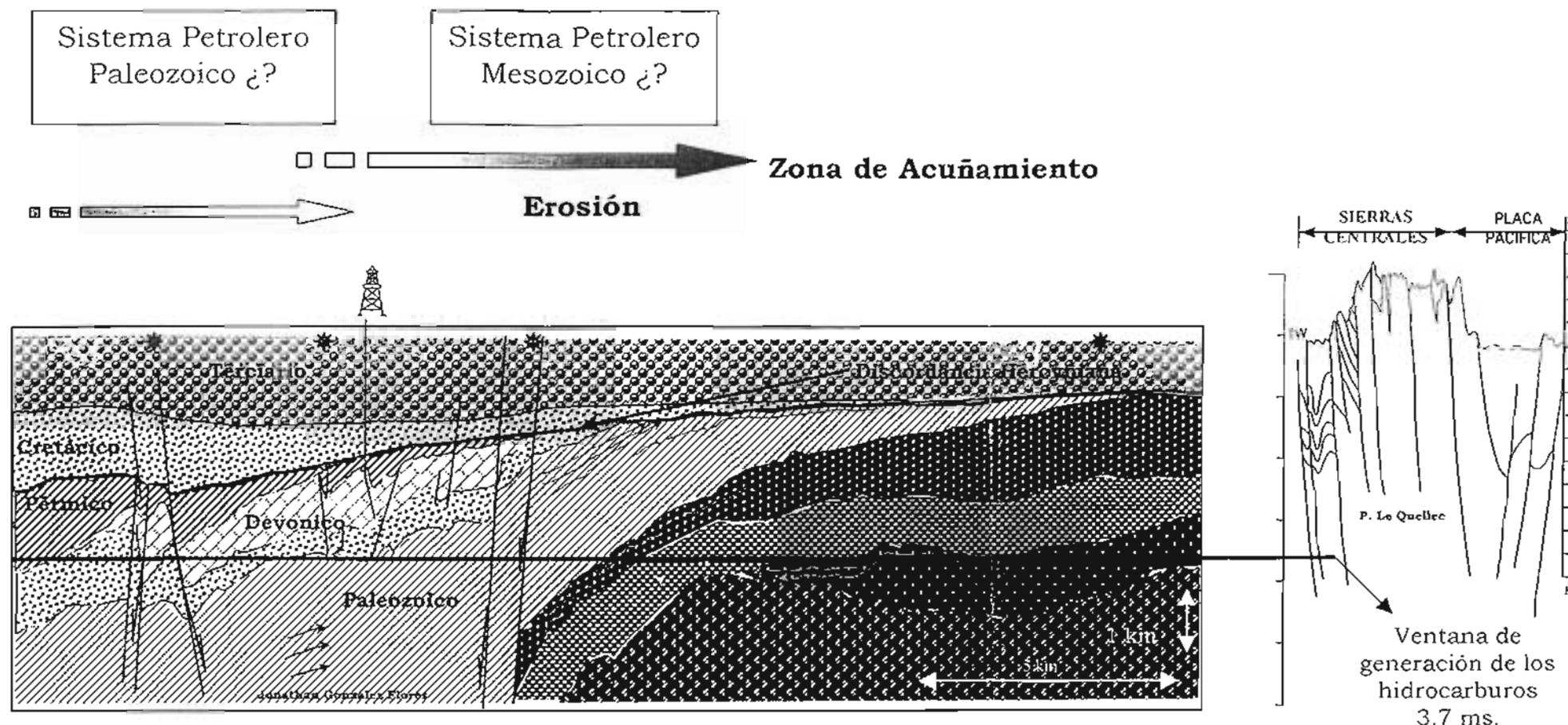


Figura 4.7. Sección Sintética Geológica-Petrolera, interpretada a partir de la interpretación de la sección compuesta de la línea ROOA-42: se identificaron secuencias Proterozoicas, Paleozoico Inferior y Paleozoico superior (Devónico y Pérmico), así como secuencias Mesozoicas y Terciarias. La Ventana de Generación de los Hidrocarburos, se propone a 3.7 milisegundos (ms) de profundidad.

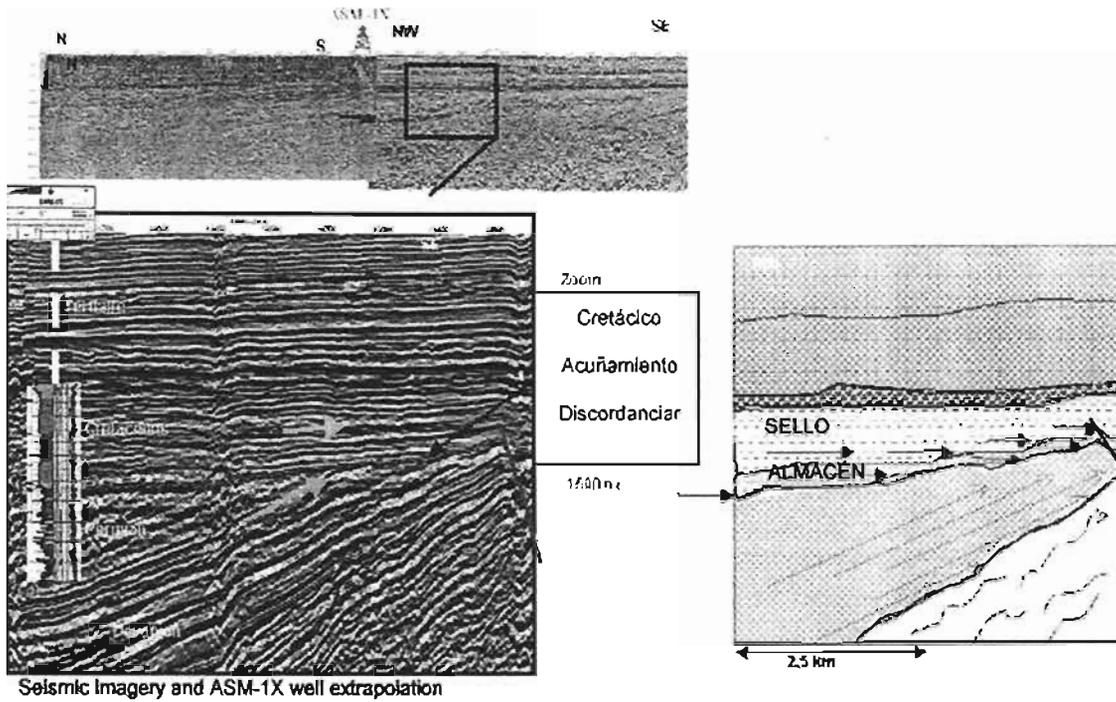


Figura 4.8. Modelo de interpretación del Miembro Uno del *Pinch-out*, de la Formación Woni. En el acercamiento a la imagen sísmica las señales estilo *top-lap* contrastan con las líneas con señal semihorizontal del *pinch-out*. El acuñaamiento en el primer miembro, presenta un estilo de depósito en *coastal-lap*.

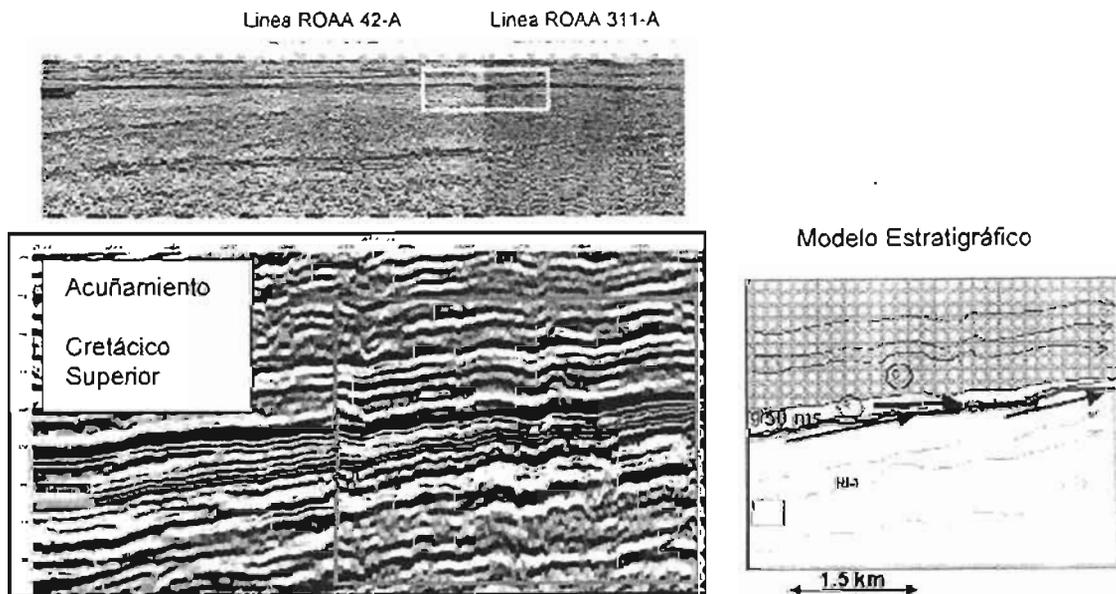


Figura 4.9. Modelo de interpretación del Miembro Dos del *Pinch-out*, de la Fm. Woni. El Miembro finaliza en la unión de las dos discordancias.

4.2.2. Cartas de localización sísmica a profundidad, de la zona de acunamiento.

Tomando como base las líneas sísmicas interpretadas y considerando las propiedades petrofísicas del posible yacimiento, el siguiente reto fue el hacer la investigación del área de influencia de esta zona de acunamiento (Fig 4.11).

Como primer paso, se trató de definir los horizontes como superficies límite, es decir, se tomó la Discordancia Hercyniana como superficie límite inferior de la secuencia, generando una carta *in time* de dicha discordancia (Fig. 4.12).

Segundo, se asignó el límite superior ubicado en la superficie superior de la Formación Panya, de donde se partió para desarrollar una carta *in thickness*, hasta el límite inferior de esta formación (Fig. 4.13).

El tercer paso, se enfocó en la delimitación de la Formación Woni, que teóricamente se encuentra entre las cartas: *Discordancia Hercyniana in time* y *Formación Panya in thickness*. Para llegar a este objetivo, se desarrollaron dos cartas para la Formación Woni: Una carta que define la horizontalidad lateral (Fig. 4.14, carta *in time*) y la otra, para interpretar el espesor, esto es una carta *in thickness* (Fig. 4.15).

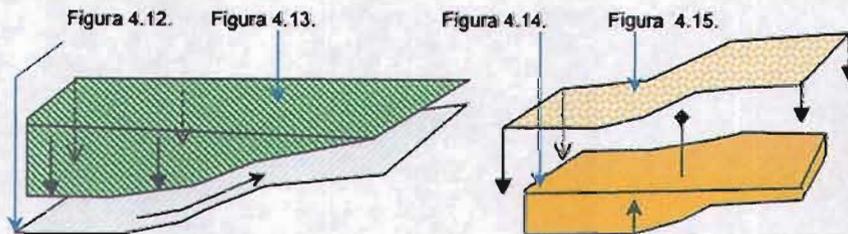


Figura 4.11. Metodología para la investigación del área de influencia de el acunamiento

Con la intersección de la carta de la Formación Woni *in thickness* y las cartas *Discordancia Hercyniana in time* y *Formación Panya in thickness*, fue posible localizar el área del acúñamiento en una carta compuesta que ubica con intensidad de colores la profundidad y espesor del *pinch-out* (Fig. 4.16)

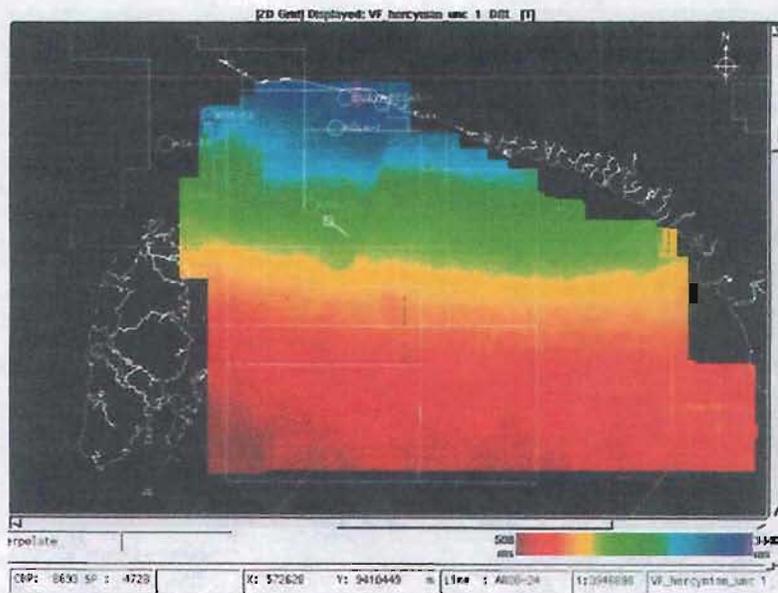


Figura 4.12. Carta en tiempo de la Discordancia Hercyniana (*chart in time*).

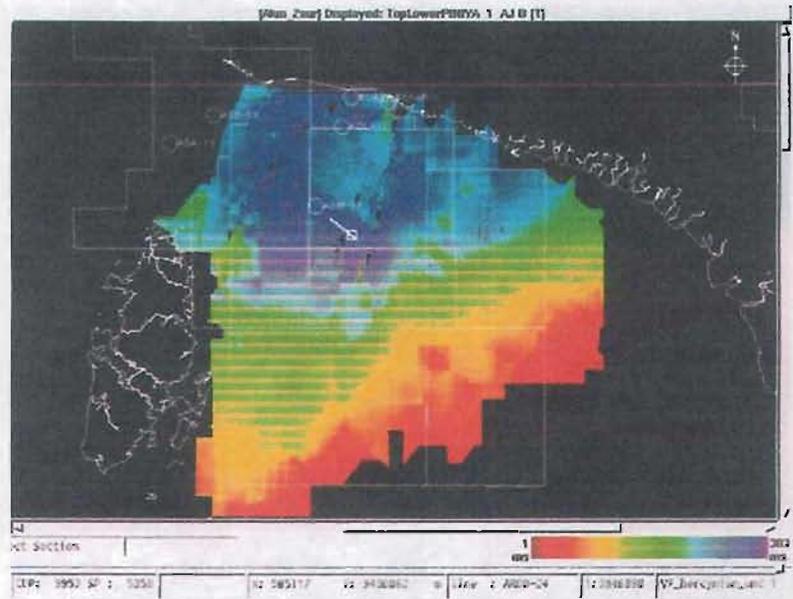


Figura 4.13. Carta en espesor del horizonte Panya (*chart thickness*).

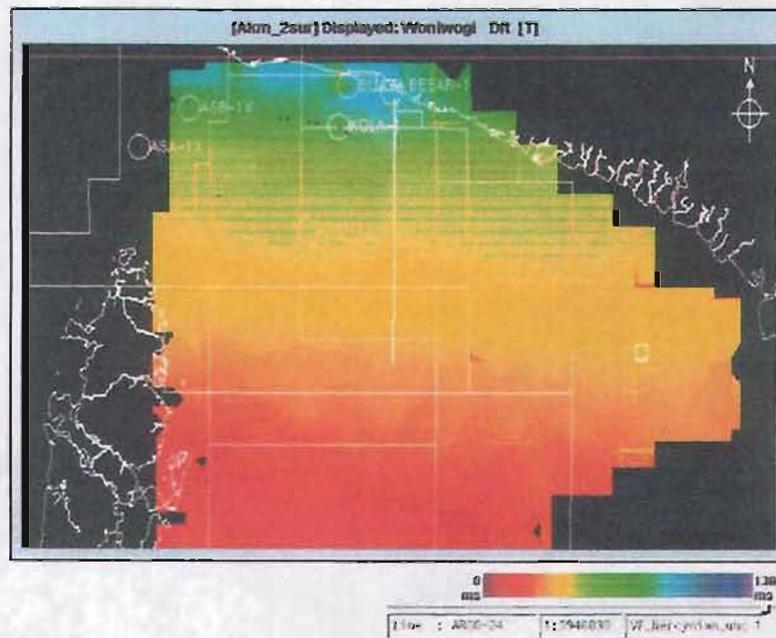


Figura 4.14. Carta en Tiempo del horizonte Woni (*chart in time*).

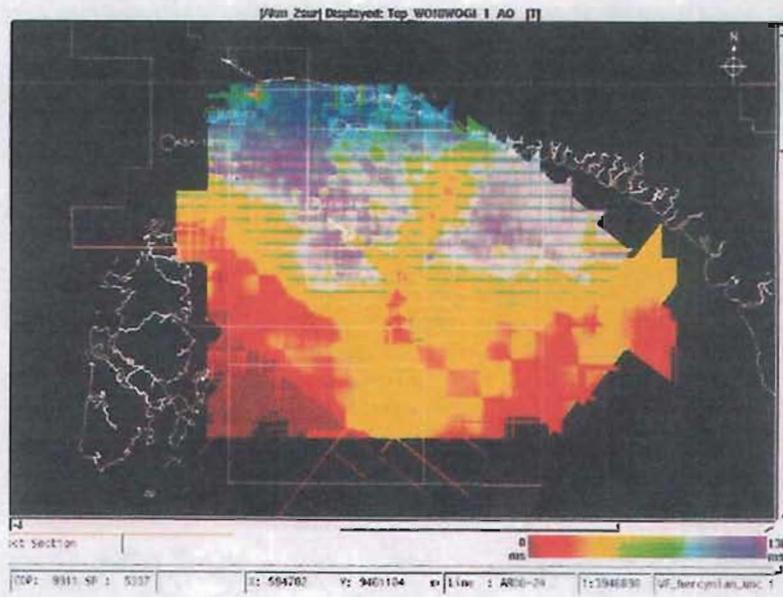


Figura 4.15. Carta en espesor y profundidad del horizonte Woni (thickness chart in thickness).

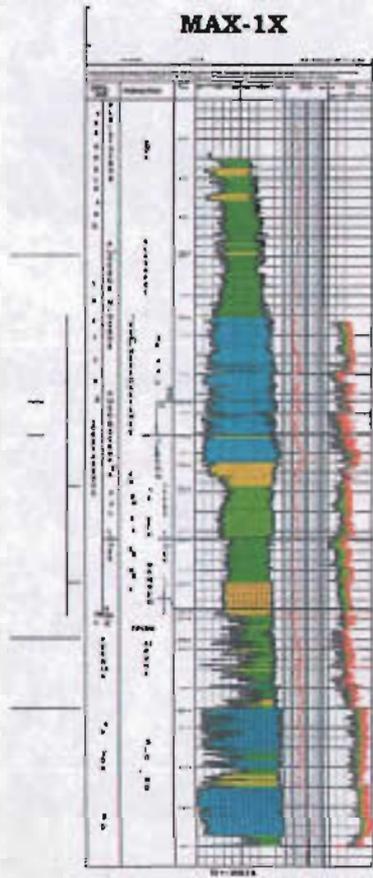
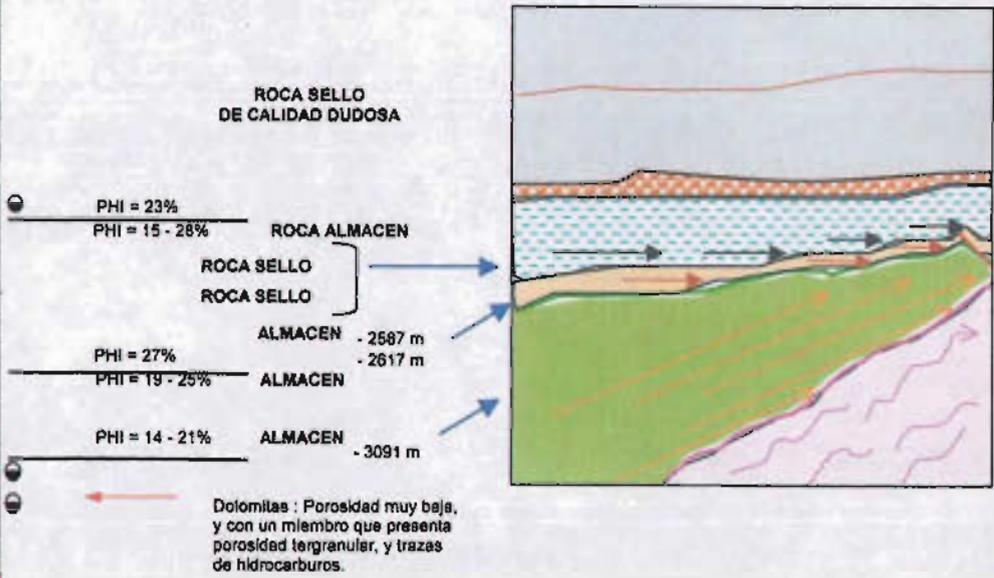


Figura 4.10. Características de las rocas almacén Woni (Cretacico inferior.) y la Fm.Tupumai (Devonico). La roca sello de esta región es la formación Panya de edad cretácica y como potencial roca generadora, se considera a las rocas Devónicas ?. La figura se divide en tres secciones, en la parte izquierda, se tiene la interpretación litológica de los registros del pozo MAX-1X, al centro, las características petrofísicas asignadas y a la derecha, el modelo regional de yacimiento, el cual considera a la Fm. Woni como potencial roca almacén.



4.3. Localización de la Potencial Zona de Trampas de Acuñaamiento o *pinch-out traps*.

Posterior a la localización del área del acuñaamiento, se plantearon los criterios para la ubicación de la mejor zona para delimitar los potenciales yacimientos, estos son:

i) Se debe identificar un área donde existan los dos horizontes de la Formación Woni (Fig. 4.16).

ii) Esta zona, debe de tener capacidad para almacenar un volumen de hidrocarburos económicamente explotable.

iii) Debe de ser un horizonte potencialmente fácil de perforar, es decir, los problemas estructurales deberán ser cuantificables (Fig. 4.16).

iv) En las zonas con problemas estructurales deberá haber más detalle en los estudios de las potenciales trampas (Fig. 4.17).

v) Las zonas con continuidad lateral de roca sello, tendrán preferencia para incluirlas como zonas de prospección.

Se debe de asegurar la continuidad lateral de la Formación Woni, antes de llegar a la mejor zona de trampas, para garantizar la migración y carga de miembros arenosos.

De esta forma las figuras 4.16, 4.17, 4.18 y 4.19, muestran el trabajo de interpretación y localización de trampas estratigráficas.

En la figura 4.16, es posible observar un contraste de colores, al norte colores verde-azul y amarillos y rojos al sur. Al norte se encuentran las áreas más gruesas de la formación Woni, siendo la parte NW el máximo espesor.

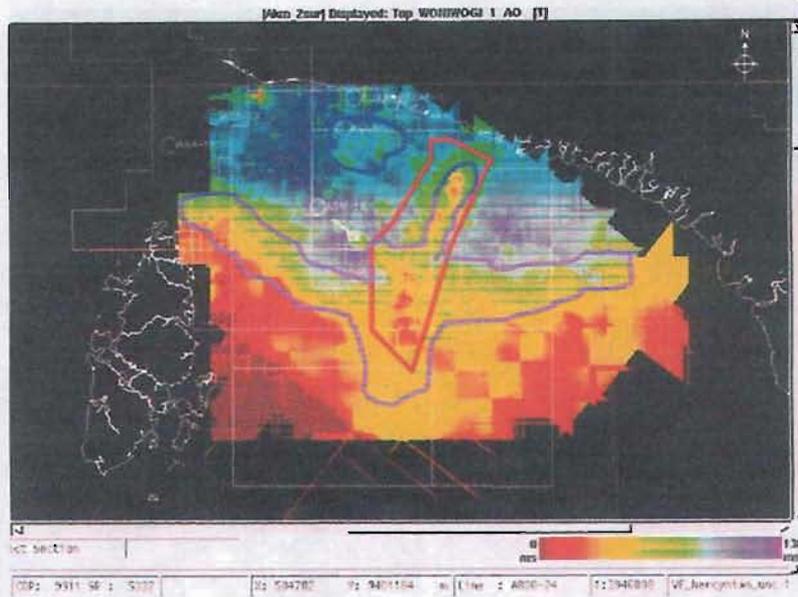


Figura 4.16. Area interpretada como acuífamiento regional en potencia.

 Perímetro límite del área de acuífamiento, dentro de ésta área se encuentran los potenciales yacimientos.

 Área de fallas regionales.

Por el contrario al sur, se interpretó la zona de los acuífamientos principales, en el intervalo entre los 55-85 ms donde es visible la transición de señales.

Las señales cercanas a 0 ms, indican el poco espesor de la formación y en su caso, la interpolación forzada entre líneas sísmicas muy separadas. Cabe señalar que estas zonas se dejaron de utilizar al igual que las áreas interpretadas como falladas, por su riesgo en una exploración regional.

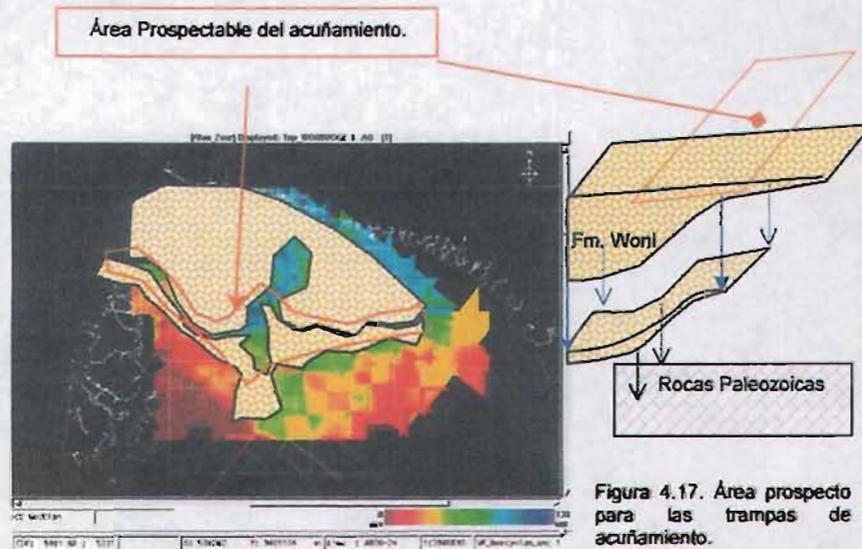


Figura 4.17. Área prospecto para las trampas de acuífero.

Por lo tanto, para definir las trampas, se localizó la mejor zona, en términos de espesor, de la formación Woni (Fig. 4.17), tomándose en cuenta los dos miembros.

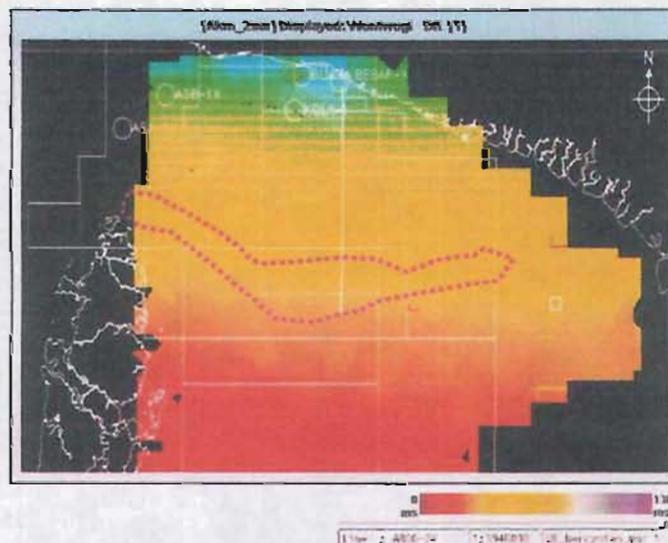


Figura 4.18. Área de las mejores trampas potenciales estilo cuña o pinch-out en el horizonte Woni.

Es así, que la zona de trampas fue localizada en un perímetro con diversas características estructurales y petroleras, pero con homogeneidades petrofísicas, sedimentológicas y estratigráficas, mismas que se evalúan en el apartado de cuantificación de riesgos.

En un mapa general de la Isla de Irian Jaya (Fig. 4.19), Indonesia, se localiza de forma general, el área ocupada por este complejo sistema de trampas estratigráficas de tipo cuña, en el que será indispensable la perforación de nuevos pozos de exploratorios, para su futura explotación.

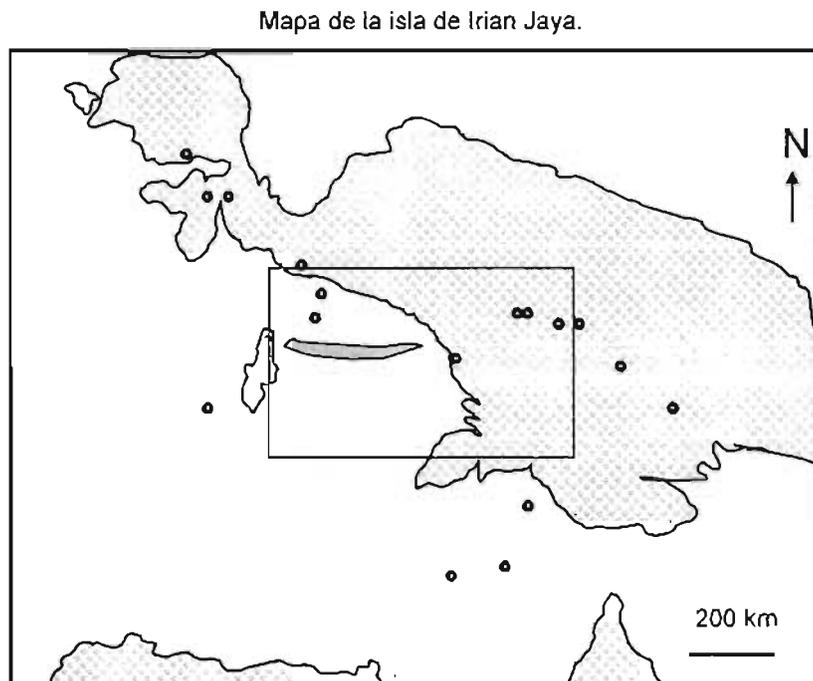


Figura 4.19. Localización del *pinch-out* de manera regional en el Mar de Arafura.

4.4. Análisis de Riesgos Geológico-Petroleros.

Los riesgos petroleros interpretados en este trabajo, responden al tipo de investigación empleado en este estudio.

Los datos sísmicos, presentan deficiencias de procesado, espaciamiento no adecuado entre líneas y regular compatibilidad de campañas sísmicas en toda el área del Mar de Arafura, dando lugar a zonas con incertidumbre en la interpolación, interpretación y localización precisa de potenciales trampas; por lo tanto existe un riesgo medio.

La zona de fallas visible, en las cartas *in thickness*, disminuyen la seguridad de acertar en un objetivo potencial y aumentan el riesgo de perforación, existiendo un alto riesgo.

Los cambios de *facies* existentes en la Formación Woni, influirán en la potencial extracción, pero podrán ser benéficos en ciertos casos; en este caso el riesgo es Bajo.

La Cocina de Hidrocarburos ubicada hipotéticamente al NW del Mar de Arafura presenta problemas para definir el tiempo de generación-expulsión y preservación de hidrocarburos, significando un riesgo medio.

La migración se propone con una dirección NW-SE, ya que el *timing* y la migración son favorables en la cuenca y en el área de interés tiene riesgos mínimos. El entrampamiento pudo haber sucedido antes de la colisión, de donde podemos deducir que el riesgo es bajo.

La carga de hidrocarburos, teóricamente no presenta problemas, excepto por las estructuras inversas que limitan o evitan la migración, por lo que se considera que el riesgo es bajo.

El entrampamiento se piensa que sucedió de manera óptima y que no existe duda de la calidad de la roca sello, por lo que su riesgo es bajo.

En cuanto a la etapa de producción existen algunos riesgos, el primero es la localización por medio de la perforación de las regiones óptimas de explotación; el segundo, es la infraestructura que se debe implementar. El tercero es un riesgo que engloba factores de consumo, ya que los centros de comercialización y venta son muy lejanos, por lo que el costo de transporte o de almacenamiento son enormes. Por lo tanto es un factor de alto riesgo.

5. Conclusiones.

Con el análisis geológico integral realizado en el área de estudio, se concluye lo siguiente:

1. Los límites de la cuenca de Antepáis en la Isla de Irian Jaya se encuentran limitados por: a) una sutura tectónica al Norte, con evidencias de ser parte del basamento de la placa Australiana. b) Al Sur, se encuentra limitada por los cambios litológicos y los *grabens* de la cuenca de Arafura; c) al Oriente existen límites con un *rift* abortado, relacionado a la apertura del Mar de Coral, y d) al poniente, se tiene el límite de la apertura del Mar de Banda, jugando como pieza importante, la parte Noroeste del Mar de Arafura, donde la zona de falla Tarara-Aiduna define el límite de la cuenca.

2. Desde el punto de vista Tectónico y Geológico Estructural, la zona fue afectada por los siguientes eventos:

- Apertura Oceánica durante el Devónico con desarrollo de *grabens*.
- Compresión tectónica entre el Carbonífero Temprano y Medio, con el desarrollo de pliegues y fallas inversas y cabalgaduras.
- Apertura Oceánica en el Pérmico Medio, con no muchas evidencias en el área.
- Apertura Triásico Inferior-Jurásico con movimiento de bloques por fallas normales.

- En el Mioceno Superior se desarrollaron fallas con movimientos siniestros y levantamiento de rocas del Terciario en los *grabens*. Algunas de estas fallas cortan la discordancia Hercyniana.

- Las áreas de plataforma continúan estables en el Terciario.

- Los principales vectores que actuación en la cuenca son de dirección general SW a NE.

3. En cuanto a la estratigrafía, se propuso una tercia de columnas estratigráficas que complementan la información de los trabajos anteriores en la zona y proponen la importancia petrolera por región. Se propusieron 7 secuencias que describen los periodos de depósito de la zona del actual Mar de Arafura.

4. Se encuentra un sistema geoquímico petrolero con características riesgosas, ya que faltan elementos para definir espacialmente la cocina de hidrocarburos.

5. La utilización de los datos e imágenes sísmicas construyeron las bases para la interpretación geológico-petrolera del Mar de Arafura. Las secuencias sismoestratigráficas, dieron lugar a la reinterpretación del Sistema Petrolero y del Plays petrolero definido.

6. Se ubicó una potencial zona de trampas, de estilo acuñamiento estratigráfico, ubicándose en tiempo, espacio y en profundidad. Se definió una probable área de yacimientos con porosidades probadas por el Pozo MAX-IX.

7. Se evaluó el riesgo en el Sistema Petrolero, que en conjunto muestra un riesgo medio.

5.1 Recomendaciones.

- i) En el caso del procesado de campañas sísmicas antiguas, es recomendable primero: en los casos necesarios, adjuntar nuevas líneas sísmica entre las líneas de las campañas sísmicas anteriores o planear nuevas campañas con configuraciones de entramado sísmico, óptimas. Segundo, reprocesar con técnicas nuevas de conversión sísmica y migración, para discutir aspectos de cambios en la velocidad lateral de la señal y así, definir con una interpretación a detalle, los horizontes clave en la cuenca. Tercero, hacer trabajo de compatibilidad entre las campañas sísmicas, para trabajos futuros de interpretación. Cuarto, hacer revisiones de la interpretación de horizontes, para la generación de cartas isócronas e isópacas a detalle. Y quinto, en el caso de la zona de fallas Tarara-Aiduna, la interpretación sísmica podrá hacerse con una adecuada delimitación de la zona de fallas, y así, se podrán cuantificar los riesgos en la existencia de una cocina de hidrocarburos en la región y específicamente al noreste del pozo MAX-1X.

- ii) Se recomienda hacer una nueva campaña de exploración, en la cual se incluya la perforación de pozos al sur y sureste del pozo MAX-1X. El primer pozo al sur, servirá para evaluar la calidad del yacimiento *in situ* y el segundo pozo servirá para comenzar los estudios de calidad del yacimiento fracturado o fallado, en la Formación Woni. Además, en esta campaña, de deben de incluir los estudios correspondientes de geoquímica orgánica, para conocer: el tipo, la génesis y la calidad de los hidrocarburos existentes, así como el volumen que se ha producido y las probables rutas de migración de los mismos, concluyéndose este estudio, con la localización aproximada de la cocina de hidrocarburos..

5.2 Comentarios.

Las nuevas campañas exploratorias, deben ser bien evaluadas en el aspecto económico, ya que el monto de nuevas campañas sísmicas, estudios de yacimiento y geoquímica de pozos, son muy elevados, los cuales dependen directamente de las exigencias del mercado.

Los mercados mas cercanos a esta región, son: el mercado chino y el mercado japonés, como los más demandantes. El mercado indonesio, vietnamita y malasio, en segundo término y los mercados australiano y europeo, como mercados cautivos de mediano a bajo consumo en la región. Éste último, con necesidades de energéticos cada vez más grandes, y como primero en la lista de inversionistas en este proyecto de exploración.

Índice de Figuras

- Figura 1.1** Mapa Metodológico.
- Figura 1.2** Mapa de Localización de la Isla de Irian Jaya, Indonesia
- Figura 2.1** Mapa de Información General de Irian Jaya y el Mar de Arafura.
- Figura 2.2** Mapa de localización de Campañas Sísmicas en la región del Mar de Arafura.
- Figura 3.1** Registro estratigráfico de las rocas Mesozoicas en pozos de la región Indonesa Oriental y del Occidente de Papua Nueva Guinea.
- Figura 3.2** Principales eventos Geológicos de la zona del Mar de Arafura.
- Figura 3.3** Ubicación de las rocas jurasicas en la Isla de Irian Jaya
- Figura 3.4** Ubicación de las rocas cretácicas en la Isla de Irian Jaya.
- Figura 3.5** Esquema que resume en tres grandes grupos las secuencias interpretadas en el Mar de Arafura.
- Figura 3.6** Sección Sísmica ROOA-compuesta con dirección NW-SE.
- Figura 3.7** Punto Triple, donde interactúan tres placas: Pacífica, Eurasiática y la Indoaustraliana.
- Figura 3.8** Mapa donde se ubican las Principales Provincias Tectónicas de Irian Jaya.
- Figura 3.9** Mapa de ubicación de grabens con un esquema de la inversión del romboide del Norte del Mar de Arafura y su inversión estructural.
- Figura 4.1** Registro de rocas jurásicas y cretácicas en Irian Jaya.
- Figura 4.2** Columnas estratigráficas de la Cuenca de Antepais del Mar de Arafura y en la Isla de Irian Jaya.
- Figura 4.3** Columna Estratigráfica Sintética Regional de las áreas de Bintuni, del Cinturón de Lengguru, Mar de Arafura, Cinturón de Irian Jaya y Cuenca de Papua.
- Figura 4.4** Principales direcciones de colisión en la Isla de Irian Jaya
- Figura 4.5** Localización de la Sección Sísmica G-H y el pozo MAX-1X.
- Figura 4.6a** Sección Sísmica G-H y su interpretación por horizontes.
- Figura 4.6b** Sección Sísmica G-H, donde se indica la interpretación de los marcadores sísmicos más fuertes.
- Figura 4.7** Sección Sintética Geológica-Petrolera interpretada a partir de la sección compuesta de la línea ROOA-42.
- Figura 4.8** Modelo de interpretación del Miembro Uno del *Pinch out* de la Formación Woni.
- Figura 4.9** Modelo de interpretación del Miembro Dos del *Pinch out* de la Formación Woni.

- Figura 4.10** Características de las rocas almacén Woni (Cretácico Inferior).
- Figura 4.11** Metodología para la investigación del área de influencia de el acuñaamiento.
- Figura 4.12** Carta en tiempo de la Discordancia Hercyniana (*chart in time*).
- Figura 4.13** Carta en espesor del horizonte Panya (*chart thickness*).
- Figura 4.14** Carta del horizonte Woniwogi (*chart in Time*).
- Figura 4.15** Carta del espesor y profundidad del horizonte Woni (*chart in Thickness*).
- Figura 4.16** Área interpretada como acuñaamiento regional de potencia.
- Figura 4.17** Área prospecto para las trampas de acuñaamiento.
- Figura 4.18** Área de las mejores trampas potenciales estilo cuña o *pinch-out* en el horizonte Woni.
- Figura 4.19** Localización del *pinch-out* de manera regional en el Mar de Arafura.

Referencias Bibliográficas

BUCHANAN, P.G. & WARBURTON, J. 1996. The influence of pre-existing basin architecture in the development of the Papuan Fold and Thrust Belt: Implications for petroleum prospectivity. In: *Petroleum Exploration, Development and Production in Papua New Guinea. Proceedings of the third PNG Petroleum Convention (Edited by Buchanan, P.G.)*, 89-110.

CORE LAB AND PERTAMINA, 2000. Foreland Basin Areas of Irian Jaya and Papua New Guinea. Melburn Australia, 100- 133.

HILL, G.S., PRICE, S.J., FOSTER, M.S., STEPHENSON, R.W., ELLIS, D. & LYSLO, J.A. 1996. Seismic acquisition in the Papuan Fold Belt - A new approach. In: *Petroleum Exploration, Development and Production in Papua New Guinea. Proceedings of the third PNG Petroleum Convention (Edited by Buchanan, P.G.)*, 445-458.

HILL, K.C. 1988. The Muller Anticline, Papua New Guinea; basement-cored, inverted extensional fault structures with opposite vergence. *Tectonophysics* 158 (1-4), 227-245.

HILL, K.C. 1990. Structural styles and hydrocarbons in the Papuan Fold Belt, a review. In: *Petroleum Exploration in Papua New Guinea. Proceedings of the first PNG Petroleum Convention (Edited by Carman, G.J. & Carman, Z.)*, 301-310.

HILL, K.C. 1991. Structure of the Papuan Fold Belt, Papua New Guinea. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 75 (4), 857-872.

HILL, K.C. & GLEADOW, A.J.W. 1990. Apatite fission track analysis of the Papuan Basin. In: *Petroleum Exploration in Papua New Guinea. Proceedings of the first PNG Petroleum Convention (Edited by Carman, G.J. & Carman, Z.)*, 119-136.

HILL, K.C., FORWOOD, J., RODDA, C., SMYTH, C. & WHITMORE, G. 1993. Structural styles and hydrocarbon prospectivity around the Northern Muller Anticline. In: *Petroleum Exploration in Papua New Guinea. Proceedings of the 2nd PNG Petroleum Convention (Edited by Carman, G.J. & Carman, Z.)*, 325-334.

HILL, K.C., GREY, A., FOSTER, D.A. & BARRETT, R.A. 1993. An alternative model for the Oligo-Miocene evolution of northern PNG and Sepik - Ramu basins. In: *Petroleum Exploration in Papua New Guinea. Proceedings of the 2nd PNG Petroleum Convention (Edited by Carman, G.J. & Carman, Z.)*, 241-259.

HILL, K.C., MEDD, D. & DARVALL, P. 1990. Structure, stratigraphy, geochemistry and hydrocarbons in the Kagua-Kubor area, Papua New Guinea. In: *Petroleum Exploration in Papua New Guinea. Proceedings of the first PNG Petroleum Convention (Edited by Carman, G.J. & Carman, Z.)*, 351-368.

HILL, K.C., SIMPSON, R.J., KENDRICK, R.D., CROWHURST, P.V., O'SULLIVAN, P.B. & SAEFUDIN, I. 1996. Hydrocarbons in New Guinea, controlled by basement fabric, Mesozoic extension and Tertiary convergent margin tectonics. In: *Petroleum Exploration, Development and Production in Papua New Guinea. Proceedings of the third PNG Petroleum Convention (Edited by Buchanan, P.G.)*, 63-76.

- HIRST, J.P.P. & PRICE, C.A. 1996. Sequence stratigraphy and sandstone geometry of the Toro and Imburu Formations within the Papuan Fold Belt and Foreland. In: *Petroleum Exploration, Development and Production in Papua New Guinea. Proceedings of the third PNG Petroleum Convention (Edited by Buchanan, P.G.)*, 279-300.
- HOME, P.C., DALTON, D.G. & BRANNAN, J. 1990. Geological evolution of the western Papuan Basin. In: *Petroleum Exploration in Papua New Guinea. Proceedings of the first PNG Petroleum Convention (Edited by Carman, G.J. & Carman, Z.)*, 107-118.
- KENDRICK, R.D., HILL, K.C., PARRIS, K., IJEP SAEFUDIN & O'SULLIVAN, P.B. 1995. Timing and Style of Neogene Regional Deformation in the Irian Jaya Fold Belt, Indonesia. *Indonesian Petroleum Association, Proceedings 24th annual convention Jakarta, 1995* 1, 249-262.
- MADU, S.K. 1996. Correlation sections of the Late Jurassic to Early Cretaceous succession in the Papuan Fold Belt, Papuan Basin: Sequence stratigraphic framework, concepts and implications for exploration and exploitation. In: *Petroleum Exploration, Development and Production in Papua New Guinea. Proceedings of the third PNG Petroleum Convention (Edited by Buchanan, P.G.)*, 259-278.
- SMITH, R.I. 1990. Tertiary plate tectonic setting and evolution of Papua New Guinea. In: *Petroleum Exploration in Papua New Guinea. Proceedings of the first PNG Petroleum Convention (Edited by Carman, G.J. & Carman, Z.)*, 229-244.
- PIGRAM, C.J. & PANGGABEAN, H. 1981. Pre-Tertiary geology of western Irian Jaya and Misool Island: Implications for the tectonic development of eastern Indonesia. *Indonesian Petroleum Association, Proceedings 10th annual convention, Jakarta, 1981*, 385-400.
- PIGRAM, C.J. & PANGGABEAN, H. 1984. Rifting of the northern margin of the Australian continent and the origin of some microcontinents in eastern Indonesia. *Tectonophysics* 107, 331-353.
- PIGRAM, C.J. & SYMONDS, P.A. 1991. A review of the timing of the major tectonic events in the New Guinea Orogen. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences. Special Issue: Orogenesis in action - Tectonics and processes at the West Equatorial Pacific margin* 6 (3/4), 307-318.
- PIGRAM, C.J. & SYMONDS, P.A. 1992. Tectonic control on the major play types in the Papuan basin, PNG. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 76 (7), 1122.
- PIGRAM, C.J. & SYMONDS, P.A. 1993. Eastern Papuan Basin: a new model for the tectonic development and implications for petroleum prospectivity. In: *Petroleum Exploration in Papua New Guinea. Proceedings of the 2nd PNG Petroleum Convention (Edited by Carman, G.J. & Carman, Z.)*, 213-232.
- PIGRAM, C.J., DAVIES, P.J., FEARY, D.A. & SYMONS, P.A. 1989. Tectonic controls on carbonate platform evolution in southern Papua New Guinea passive margin foreland basin. *Geology* 17 (3), 199-202.
- PIGRAM, C.J., DAVIES, P.J., FEARY, D.A., SYMONDS, P.A. & CHAPRONIERE, G.C.H. 1990. Controls on Tertiary carbonate platform evolution in the Papuan Basin: new play concepts. In: *Petroleum Exploration in Papua New Guinea. Proceedings of the first PNG Petroleum Convention (Edited by Carman, G.J. & Carman, Z.)*, 185-196.

POWIS, G.D. 1993. The sequence stratigraphy of the Mesozoic reservoirs of the Gobe Anticline, Papuan Thrust Belt. *In: Petroleum Exploration in Papua New Guinea. Proceedings of the 2nd PNG Petroleum Convention (Edited by Carman, G.J. & Carman, Z.)*, 155-168.

QUARLES VAN UFFORD, A. 1993. Retreat of the equatorial glaciers of Irian Jaya (western New Guinea), Indonesia; new data from SPOT imagery. *American Association of Petroleum Geologists 1993 annual convention, New Orleans, LA, April 25-28, 1993*, 169.

SOPAHELWAKAN, J. 1994. Basement evolution of the Bunu-Seram Microplate and its bearing on hydrocarbon occurrences. *In: Rau, J.L. Proceedings of the thirtieth annual session of the Committee for Co-ordination of Joint Prospecting for Mineral Resources in Asian Offshore Areas (CCOP), Bali, Nov. 9-13, 1993. Part II, Technical report. 30*, 17-32.

WELSH, A. 1990. Applied Mesozoic Biostratigraphy in the Western Papuan Basin. *In: Petroleum Exploration in Papua New Guinea. Proceedings of the first PNG Petroleum Convention (Edited by Carman, G.J. & Carman, Z.)*, 369-380. Autor