

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y
METALURGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIRÍA GEOLÓGICA



**LA SUB CUENCA PACHITEA: ESTRUCTURA, NUEVA
ESTRATIGRAFÍA Y POTENCIAL HIDROCARBURIFEO**

TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Miguel Angel Alcca Torres

LIMA - PERÚ

2007

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el convenio PERUPETRO-PETROLIFERA-IRD dentro del plan de desarrollo de investigaciones de las cuencas subandinas.

Mis más grandes agradecimientos al Dr. Patrice Baby, investigador encargado del los proyectos de investigación del IRD (Institute de Recherche pour le Développement) en PERUPETRO por las enseñanzas, correcciones y consejos en el desarrollo del presente trabajo. Al Grupo Funcional de Evaluación de Cuencas de PERUPETRO, en especial al Ing. Elmer Martinez por el impulso en el desarrollo de este gran paso en mi carrera, al Dr. Wilber Hermoza, por su amistad y consejos que me ayudaron a encaminarme en este trabajo. Seguidamente a los ing. Ysabel Calderon, Carlos Galdos, Justo Fernandez y Pedro Cáceres que me aportaron son su amistad y ayuda. Al Ing. Rolando Bolaños por el apoyo a la investigación y el desarrollo de las personas involucradas dentro de los proyectos del IRD.

Mis agradecimientos también a todo el personal de PERUPETRO-banco de datos, a todo el personal de IRD en PERUPETRO, los tesisistas y en especial a la Ing. Mayssa Vega Mc., a puertas de obtener su doctorado, por los valiosos consejos; y a la empresa PETROLIFERA por medio de Ing. Carlos Monges.

Finalmente agradezco a mis padres y familiares; y seguidamente, a los amigos y profesores que sin su apoyo no se hubiese realizado este trabajo.

“A las pichangas de PERUPETRO-INGEMMET”

RESUMEN

El presente es un estudio integrado de la geometría, estructura, estratigrafía y potencial hidrocarburífero de la Sub-Cuenca Pachitea. El cual se basa en la interpretación de secciones sísmicas, datos de pozo, datos geoquímicos y datos de campañas de campo en la Cordillera de San Matías, en conjunto con trabajos anteriores en la zona. A partir de los cuales y con la ayuda del procesamiento de imágenes satelitales, datos de sismicidad y gravimetría, permitió entender la evolución geodinámica de nuestra cuenca. En el desarrollo de este trabajo, se recurrió a los conceptos de fajas plegadas y corridas, y a conceptos básicos de la exploración petrolera.

La importancia del presente estudio radica en la integración de la información existente de la Sub. Cuenca Pachitea con la información de campo adquirida en el la campaña realizada en el presente trabajo, haciendo énfasis a los afloramientos de San Matías, lugar donde aflora el paleozoico. Además a la revisión de la información estratigráfica de los pozos perforados dentro del área; y así como también, la sísmica que cubre la zona. Para lo cual se presenta un nuevo modelo estructural y estratigráfico acorde con el modelo tectónico regional de la cuenca Ucayali que fue causa de diversas confusiones en el pasado. Por otro lado, la interpretación de secciones sísmicas ha puesto en evidencia nuevos horizontes sísmicos que corresponden a superficies de erosión o discordancias regionales, e importantes sistemas de corrimientos.

La Sub Cuenca Pachitea forma parte de la cuenca Ucayali, se ubicada entre los departamentos de Pasco y Huánuco con una extensión mayor a 14 000 km². Integra una red hidrográfica entre los ríos Palcazú y Pichis que colinda con tres reservas naturales. El acceso a esta cuenca es por vía fluvial y terrestre.

Desde el punto de vista tectónico presenta una evolución que esta ligada a la zona subandina. Esta sub cuenca y parte norte de la Cuenca Ucayali están involucradas dentro de un corredor estructural que evoluciono de N a S. Esta se registra en el Neógeno con el levantamiento de altos estructurales como son: al este las Montañas del Shira y al oeste, la Cordillera de San Matías. Se desarrollaron estructuras complejas combinando semi-grabenes invertidos y corrimientos con despegues en niveles de evaporitas jurásicas.

El sistema de corrimientos de la Cordillera de San Matías resulto complejo, por lo cual fue necesario un análisis muy detallado de superficie como de sub-suelo. Secciones estratigráficas y estructurales permitieron elaborar una sección estructural balanceada que valido nuestras interpretaciones geométricas, interpretando la Serranía de San Matías como un pliegue por propagación de falla ocultando la inversión de un semigraben permo-triasico. Esas deformaciones compresivas ocurrieron durante el Neógeno (10Ma).

Existen tres sistemas petroleros hipotéticos en la Cuenca Pachitea: 1) Pucará-Cushabatay (.), 2) Lutitas Ene- Eólico Ene (.) y 3) Cabanillas, Ambo-Tarma (.). Los reservorios más importantes son la Formación Ene con sus facies eólicas y las areniscas de la Formación Cushabatay. Igualmente se ha determinado dos etapas de generación de hidrocarburos: en el Paleozoico y en el Jurásico. La modelización de cuenca a partir de los datos de madurez de roca madre (Ro) del pozo Oxapampa 7-1 y de los afloramientos

*La Sub-Cuenca Pachitea: Estructura, Nueva Estratigrafía y Potencial
Hidrocarburífero*

de San Matías evidencian una erosión de 2700m en esta última y de 1500m a nivel del anticlinal de Iscozacín. Los depósitos terciarios representan importantes eventos de subsidencia activando la generación y expulsión de hidrocarburos. Los sistemas de petróleo paleozoicos son considerados como los más importantes en nuestra cuenca, basados en las modelizaciones de las rocas madres y observaciones de campo.

Los “*plays*” propuestos responden a la integración de la estratigrafía y el mapeo de estructuras prospectivas recopiladas tanto en el proyecto como de datos bibliográficos. Resultan de estas dos “*plays*”: uno ubicado en la cordillera de San Matías y asociado a inversiones tectónicas de semigrabenos permo-triásicos, y otra en la parte oeste del primero, el cual está asociado a anticlinales de corrimiento.

Finalmente la información recopilada e interpretada generó gran cantidad de datos, vectores, mapas, etc..., razón por lo que utilizamos un sistema de información geográfica (SIG) que admita gestionarlos. Esos datos son utilizados frecuentemente en las evaluaciones de cuenca dentro de una investigación multi-escala, permitiendo preservar los avances realizados hasta la fecha y generar mapas temáticos que respalden nuestras interpretaciones.

El objeto final de este trabajo es optar el título profesional de ingeniero geólogo en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), siendo este financiado por el marco del convenio PERUPETRO-PETROLIFERERA-IRD.

INDICE

RESUMEN

| | |
|--|-----------|
| CÁPITULO I ASPECTOS GENERALES | 1 |
| 1.1 Ubicación y extensión | 1 |
| 1.1.1 Accesibilidad | 1 |
| 1.1.2 Áreas Naturales Protegidas | 3 |
| 1.1.2.1 Parque Nacional Yanachaga – Chemillén | 3 |
| 1.1.2.2 Bosque de Protección San Matías - San Carlos | 3 |
| 1.1.2.3 Reserva Comunal Yanesha | 3 |
| 1.1.2.4 Bosque Nacional Alexander Von Humboldt | 3 |
| 1.1.3 Geomorfología | 4 |
| 1.1.4 Entorno Biofísico | 5 |
| 1.1.4.1 Clima | 5 |
| 1.1.4.2 Precipitación | 5 |
| 1.1.4.3 Humedad Relativa | 6 |
| 1.1.4.4 Viento | 6 |
| 1.2 Planeamiento del problema y objetivos del trabajo | 6 |
| 1.3 Metodología | 7 |
| 1.4 Trabajos Anteriores. | 10 |
| | |
| CÁPITULO II CONTEXTO TECTÓNICO | 13 |
| 2.1 Introducción | 13 |
| 2.2 La Tectónica Andina | 13 |
| 2.3 La Cuenca De Ante-Pais Amazónica | 14 |
| 2.3.1 Segmentación del antepaís (generalidades). | 15 |
| 2.3.1.1 La zona de depósito <i>wedge-top</i> . | 17 |
| 2.3.1.2 Zona de depósito <i>foredeep</i> . | 17 |
| 2.3.1.3 Zona de depósito <i>forebulge</i> | 17 |
| 2.3.1.4 Zona de depósito <i>Back-bulge</i> | 17 |
| 2.3.2 El papel del Cenozoico en las cuencas de Antepaís Amazónicas | 18 |
| 2.4 Las cuencas subandinas: límites y grandes rasgos actuales | 19 |
| 2.5 La sub-cuenca Pachitea (generalidades) | 20 |
| | |
| CÁPITULO III GEOMETRÍA Y ESTILO DE DEFORMACIÓN DE LA SUB CUENCA PACHITEA. | 22 |
| 3.1 Introducción | 22 |
| 3.2 Datos y estilo de deformación | 22 |
| 3.2.1 Datos estructurales de campo IRD 1995, 2006 | 22 |
| 3.2.2 Datos estructurales de campañas de ELF, OXY y PANENERGY | 23 |
| 3.3 Interpretación sísmica | 23 |
| 3.3.1 Sección sísmica G96 ENE01 | 26 |
| 3.3.2 Sección sísmica G96 ENE012 | 27 |

| | | |
|--|--|------------|
| 3.3.3 | Ensamblaje de secciones sísmicas G96 ENE01- G96 ENE12 | 27 |
| 3.3.4 | Sección sísmica G96 ENE02 | 28 |
| 3.4 | Sección balanceada regional. | 33 |
| 3.4.1 | Introducción | 33 |
| 3.4.2 | Aplicación de Conceptos de Fajas Plegadas y Corridas (FPC) | 33 |
| 3.4.3 | Estructuras desarrolladas en una FPC | 33 |
| 3.4.4 | Concepto de Inversión Tectónica | 37 |
| 3.4.4.1 | Inversión de fallas extensivas preexistentes | 38 |
| 3.4.4.2 | Modelizaciones Analógicas | 38 |
| 3.4.4.3 | Pliegue por Flexión de falla plana de 45° de buzamiento | 40 |
| 3.4.5 | Construcción de Secciones Estructurales | 40 |
| 3.4.5.1 | Sección estructural A-A' (<i>Figura III-25</i>) | 46 |
| 3.4.5.2 | Sección estructural B-B' (<i>Figura III-17</i>) | 46 |
| 3.4.6 | Construcción de la sección balanceada G96 ENE 01 - G96 ENE 012 | 49 |
| 3.4.6.1 | Generalidades sobre la técnica de sección balanceada | 49 |
| 3.4.6.2 | Reconstrucción por longitud de línea | 50 |
| 3.4.6.3 | Sección balanceada G96 ENE 01 - G96 ENE 012 (C-C') | 52 |
| 3.5 | Modelo Tectónico Regional | 54 |
| 3.5.1 | Información de gravimetría (<i>Figura III-21</i>) | 54 |
| 3.5.2 | Reportes de sismos locales (<i>Figura III-23</i>) | 54 |
| 3.5.3 | Tectónica Regional | 58 |
| CÁPITULO IV NUEVA ESTRATIGRAFÍA | | 66 |
| 4.1 | INTRODUCCIÓN | 66 |
| 4.2 | DATOS DE CAMPO Y ESTRATIGRAFÍA | 67 |
| 4.2.1 | Salida de campo Puerto Bermúdez (IRD 2006) | 67 |
| 4.2.1.1 | Pérmico Inferior | 73 |
| 4.2.1.1.1 | Formación Ene | 73 |
| 4.2.1.2 | Permo – Triásico | 75 |
| 4.2.1.2.1 | Grupo Mitú | 76 |
| 4.2.1.3 | Jurasico | 78 |
| 4.2.1.4 | Cretácico | 78 |
| 4.2.1.4.1 | Formación Cushabatay | 78 |
| 4.2.1.4.2 | Raya y Chonta | 81 |
| 4.2.1.4.3 | Vivian | 81 |
| 4.2.1.4.4 | Cachiyacu | 81 |
| 4.2.1.5 | Terciario Inferior. | 82 |
| 4.2.1.5.1 | Huchpayacu | 82 |
| 4.2.1.5.2 | Yahuarango (Huayabamba) | 82 |
| 4.2.2 | Compilación de datos ELF, OXY y PANENERGY | 85 |
| 4.3 | Interpretación de registros de pozos | 86 |
| 4.3.1 | Antecedentes | 86 |
| 4.3.2 | Interpretaciones | 87 |
| 4.4 | Correlaciones estratigráficas Pozos Oxapampa - Cordillera de San Matías | 93 |
| 4.5 | Correlación estratigráfica de la formación Ene. | 94 |
| 4.6 | Nueva columna estratigráfica Propuesta | 98 |
| CÁPITULO V HISTORIA TERMAL Y MODELAMIENTO DE CUENCA | | 100 |

| | | |
|--|--|------------|
| 5.1 | Introducción | 100 |
| 5.2 | Generalidades | 100 |
| 5.3 | Datos termales | 103 |
| 5.3.1 | Datos IRD 2006 | 103 |
| 5.3.2 | Datos: ELF – PERUPETRO. | 104 |
| 5.3.2.1 | Datos de Campo | 104 |
| 5.3.2.2 | Datos de Pozo | 105 |
| 5.3.3 | Resultados | 112 |
| 5.4 | Modelización | 113 |
| 5.4.1 | Calibración: | 114 |
| 5.4.2 | Resultados de la modelización | 116 |
| 5.4.2.1 | Pozo Oxapampa | 117 |
| 5.4.2.2 | Pozo ficticio, Cordillera de San Matías | 120 |
| 5.5 | Conclusiones | 124 |
| CÁPITULO VI POTENCIAL EXPLORATORIO Y NUEVOS PLAY DE EXPLORACIÓN | | 125 |
| 6.1 | Introducción | 125 |
| 6.2 | Generalidades | 127 |
| 6.2.1 | Sistema Petrolífero | 128 |
| 6.2.1.1 | Elementos que forman un sistema petrolífero: | 128 |
| 6.2.1.2 | Procesos de un sistema petrolífero: | 128 |
| 6.3 | Sistema de petróleo de la Sub-cuenca Pachitea | 129 |
| 6.3.1 | Elementos | 129 |
| 6.3.1.1 | Roca Madre | 129 |
| 6.3.1.1.1 | Paleozoico | 129 |
| 6.3.1.1.2 | Jurásico | 130 |
| 6.3.1.1.3 | Cretácico | 131 |
| 6.3.1.2 | Rocas reservorios | 131 |
| 6.3.1.3 | Rocas Sellos | 135 |
| 6.3.2 | Procesos | 137 |
| 6.3.2.1 | Trampas estructurales | 137 |
| 6.3.2.2 | Tiempo de generación/ migración/ entrapamiento | 138 |
| 6.4 | Propuestas de nuevos plays de exploración | 139 |
| CÁPITULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENACIONES | | 143 |
| CÁPITULO VII. BIBLIOGRAFÍA | | 146 |
| CÁPITULO VII. ANEXOS | | 151 |

LISTA DE FIGURAS, FOTOS, TABLAS Y ANEXOS

CÁPITULO I

- Figura I-1.- Mapa Geográfico (fuente IGN) donde se muestra la Sub- Cuenca Pachitea como parte de las cuencas subandinas, y sus límites geográficos. El recuadro azul corresponde al área de estudio.* 2
- Figura I-2.- Mapa geográfico (fuente del IGN) donde se aprecia las rutas principales de acceso terrestre y los poblados más cercanos. Estas comprenden tramos asfaltados desde la carretera central hasta el límite del departamento de Junín con Pasco, de allí en adelante los caminos son afirmados y de herradura.* 2
- Figura I-3.- Mapa Geográfico (fuente IGN) de la zona de estudio, donde se aprecian las áreas naturales protegidas representando gran parte del área de estudio (color verde).* 4
- Figura I-4.- DEM (Modelo digital del terreno: www.nasa.gov.) donde se aprecia las diferentes geoformas de la Sub-Cuenca Pachitea. Se notan los ríos principales que bordean la cuenca, la cordillera de San Matías como estructura sobresaliente en el centro de la cuenca, y los flancos límites como son el Alto del Shira al este y la Cordillera Oriental hacia el oeste.* 5
- Figura I-5.- Estructura del GIS en el proyecto de tesis. Sub-Cuenca Pachitea.* 8
- Figura I-6.- Mapas de Ubicación de lotes de contratos a lo largo de la historia de exploración de la Sub. Cuenca Pachitea. a) PETROPERU en los años 1971, 1975, 1984 y 1987. b) PANENERGY en los años 1998, 1999. c) OCCIDENTAL en los años 2001-2003. d) PETROLÍFERA, desde marzo del 2005 hasta la actualidad (2007).* 12

CÁPITULO II

- Figura II-1.- Sistema de cuenca de antepaís, ubicación de estas cuencas en una zona de convergencia (según Catuneanu et al., 1977, en Christophoul, 1999)* 15
- Figura II-2.- Mapa morfo- estructural de los Andes Centrales y ubicación de las cuencas subandinas (Gil 2001)* 16
- Figura II-3.- Sección esquemática que muestra la organización morfo-Estructural de las zonas de depósito del sistema de antepaís (según DeCelles & Giles, 1996; modificado por Gil, 2001)* 18
- Figura II-4.- Configuración del sistema de antepaís durante un periodo de sobrecarga litosférica en función de la intensidad de la sobrecarga lateral (según Catuneanu et al. 2000, en Gil, 2001)* 18
- Figura II-5.- Mapa estructural de las Cuenca Pachitea, Ucayali y Ene (tomado de Gil 2001)* 21

CÁPITULO III

- Figura III-1. Mapa geomorfológico, con la ubicación de la Cuenca Pachitea, secciones estructurales, secciones sísmicas y datos de campo.* 24
- Figura III-2.- Mapa geológico – estructural de la Sub-Cuenca Pachitea con ubicación de secciones sísmicas y pozos perforados hasta la fecha.* 25
- Figura III-3 .- Sección sísmica G96 ENE 01 (ubicación en el mapa de la Figura III-1) mostrando la geometría de la cuenca Pachitea y de su relleno sedimentario neógeno. La cuenca Pachitea descansa sobre el flanco oeste del Alto de Shira, y forma el ante-país del sistema de corrimientos*

de San Matías. Hacia el Este, se puede diferenciar las formaciones Tarma, Copacabana, Cushabatay, Raya, Chonta y Vivian-Cachiyacu. Se encuentran deformadas por el retrocorrimiento más occidental del Alto de Shira. Hacia el Oeste, la sísmica revela la presencia de grabenes con un relleno sedimentario probablemente equivalente a la Fm. Mitú, que forman el límite oriental del sistema de rift pérmico-triásico. 29

Figura III-4 . Primera Interpretación estructural de las secciones sísmicas G96 ENE 01 y G96 ENE 012 (ubicación en el mapa de la Figura III-1) mostrando la geometría global del sistema de corrimientos Oxapampa-Iscozacín-San Matías, y su relación con la cuenca Pachitea. Notar el recuadro con líneas discontinuas el vacío de información es cubierto por los datos de campo. Por lo cual resultan nuestra primera interpretación; en la parte inferior del corrimiento, un sistema duplex es el causante del desnivel de ambas secciones sísmicas. 30

Figura III-5.- Segunda Interpretación estructural de las secciones sísmicas G96 ENE 01 y G96 ENE 012 (ubicación en el mapa de la Figura III-1) mostrando la geometría global del sistema de corrimientos Oxapampa-Iscozacín-San Matías, y su relación con la cuenca Pachitea. El vacío de información, parte inferior del corrimiento, es interpretado como una anticlinal producto de una inversión tectónica neógena del rift permo triásico (Recuadro rojo). 31

Figura III-6.- Sección sísmica G96 Ene 02, reprocesada por Petrolifera (2007) tiene un nivel de interpretación menor a las precedentes, pero se pueden observar todavía algunos horizontes reflectores que diferencian las secuencias paleozoicas, cretácicas y terciarias. Un rasgo importante de esta son los diversos corrimientos que involucran todo el paquete paleozoico cretácico y terciario, evidenciando una zona de mayor esfuerzo compresivos que las estructuras ubicadas más al norte. 32

Figura III-7.- Tipos de pliegues desarrollados en un corrimiento: a) pliegue por propagación de falla, b) pliegue por flexión de falla, c) pliegue por despegue simple, 1) limbo delantero, 2) limbo trasero, 3) punto de termino y 4) basamento, FI=Falla Inversa, ND=Nivel de Despegue. 35

Figura III-8 : Geometría de rampas y plano horizontal. (a) Orden de aparición de los corrimientos. (b) Elementos geométricos. (1) y (3) Nivel incompetente. (2) corrimiento potencial. (4) Primer corrimiento. (5) Segundo corrimiento. (6) Anticlinal en el bloque colgante. (7) Limbo delantero. (8) Limbo trasero. (9) Sentido del transporte del bloque colgante. 35

Figura III-9: Ilustraciones que muestran el método de construcción de kink (<http://www.uwgb.edu/dutchs/structge/labman.htm>): 1,2,3,4,5,...10 representan los datos estructurales en afloramientos; a) datos estructurales dispuestos en el afloramiento; b) trazado de bisectrices que contienen a los datos estructurales (líneas de negro); c) ejemplificación de los afloramientos asociados a sus datos estructurales; d) modificación de las líneas paralelas con el fin de ajustar a los datos reales (tratando de conservar el espesor). 36

Figura III-10.- Proceso de evolución de una inversión tectónica de graben. Las imágenes a la izquierda esquematizan el proceso de inversión. Las imágenes a la derecha son tomadas de un caso real estudiado en Sunda. 39

Figura III-11.- Parte superior, A) modelo de inversión de un semigraben. Parte inferior, B), C), D): Factores que intervienen en la inversión tectónica (Véase en el texto la explicación) 41

Figura III-12.- Simulación de modelos analógicos a partir de un esquema simple de caja de arena (Sandbox). La parte superior muestra el mecanismo de generación de esfuerzos; parte inferior las diferentes disposiciones del bloque piso o "football" 42

Figura III-13.- Modelo analógico que consta de capas de arena de diferentes colores. Desde la extensión de la estructura hasta la compresión de la misma se generan diferente tipo de fracturas y fallas. Estas en la etapa final de la deformación se comportan como la evolución de un pliegue por flexión de falla de 45° de inclinación. 43

Figura III-14.- Principio de reflexión de onda, muestra la relación entre la velocidad vrms y la profundidad. Siendo este el que se aplicara a las secciones sísmicas para pasar de tiempo a

- profundidad.* 44
- Figura III-15.- Muestra el proceso del paso de los reflectores de una línea sísmica, de tiempo a profundidad. Partiendo de los datos de la misma línea en papel, el cual cuenta con un tabla de tiempos y velocidades (VRMS y de intervalo, se interpola y "plotea" en el eje vertical, luego se generaliza a toda la línea sísmica).* 45
- Figura III-16.- Sección estructural A-A' (ver mapa en Figura III-1) levantado con datos de campo, muestra la configuración de la cuenca, parte oeste de la misma.* 47
- Figura III-17.- Sección estructural B-B', sección más al este que A-A', muestra la configuración de la cuenca, la parte frontal del corrimiento de San Matías .* 48
- Figura III-18.- Se ilustra el método de balanceo por longitud de líneas. Nótese que cada segmento está rotulado igual en sección y en la reconstrucción. Se usan dos pin lines, una para los bancos ubicados por debajo del nivel de despegue superior y otra para ubicarlos encima.* 50
- Figura III-19 .- Ejemplo de una reconstrucción por conservación de longitud mostrando las diferentes etapas de restitución. En la figura a) se muestra la sección deformada; en la parte izquierda y derecha de la misma se tienen dos líneas límites Pin Line y Loose Line , respectivamente ; la figura b) restauración de los niveles , como se observa los números 1,2,3... son las guías para la restitución. Figura c) muestra los niveles de erosión que son trasladados de la deformación.* 51
- Figura III-20.- Sección balanceada restaurada en la base del Cretácico (Tope de la formación Cushabatay); en esta, al oeste se muestra el anticlinal de Iscozacín, ubicado en el eje del mismo, pozo Oxapampa 17-1. La parte oriental de la sección corresponde al monoclinal que deforma la plataforma de sedimentos paleozoicos –cretácicos, la cual aflora en Nevati, flanco oeste de las montañas del Shira y que a su vez evidencia inversión tectónica (Según Cortes balanceados en la cuenca Ene, Nicolás Espurt).* 53
- Figura III-21.- Mapa gravimétrico (Modificado, Fuente: Anadarko-Carson) con ubicación de las diferentes secciones sísmicas a lo largo de la cuenca Pachitea y Ucayali noroeste.* 55
- Figura III-22.- Acercamiento del mapa de gravimétrico en la Sub-Cuenca Pachitea, notar que la densidad de las rocas aumentan para el oriente (color rojo). Con ello confirma los afloramientos de secuencias paleozoicas en Nevati.* 56
- Figura III-23.- Mapa de distribución de sismos 1938-2005, mostrando las zonas geológicas activas y su correspondencia con los corrimientos de la cuenca.* 57
- Figura III-24.- Mapa geomorfológico de la cuenca Ucayali- Pachitea, con la ubicación de las secciones A, B, C, D, E y F de orientación W-E.* 61
- Figura III-25.- Sección sísmica "A" interpretada por PERUPETRO (W. Hermoza; 2005), que muestra las estructuras reactivadas e invertidas. Estructuras como Conica y Cashiboya, ver ubicación en la Figura III-24.* 62
- Figura III-26.- Sección sísmica "B" interpretada por PERUPETRO (W. Hermoza; 2005), mostrando el mismo estilo de inversión tectónica de la fallas listricas. Notando que las secuencias paleozoicas han heredado una tectónica distensiva.* 62
- Figura III-27.- Sección sísmica "C", interpretada por PERUPETRO (W. Hermoza; 2005), mostrando las estructuras San Alejandro y Agua Caliente. Como también el estilo estructural de las mismas.* 63
- Figura III-28.- Sección Sísmica "D", interpretada por PERUPETRO (W. Hermoza; 2005). Notar el cambio de las estructuras y la continuidad lateral de los niveles de sal respecto a las secciones anteriores.* 63
- Figura III-29.- Sección sísmica "E" interpretada solo con horizontes reflectores. Muestra la tendencia de las secuencias sedimentarias al sur y la persistencia de los niveles de sal.* 64
- Figura III-30.- Sección estructural compuesta "F", integrada con datos de campo y registro de pozo, ver con mas detalle capítulo III.* 64
- Figura III-31.- Bloque diagrama 3D de la sección estructural compuesta F, mostrando la geometría total de la Cuenca Pachitea.* 65

CÁPITULO IV

- Figura -IV-1. Mapa satelital LANDSAT mostrando el trayecto de la campaña de campo hacia Puerto Bermúdez y los afloramientos estudiados. 68
- Figura IV-2. Mapa Satelital LandSat TM mostrando los puntos de la campaña de campo IRD 2006 y las secciones estructurales bases para la construcción de la sección estratigráfica 69
- Figura IV-3. Columna estratigráfica levantada con datos de la campaña de campo IRD 1995-2006 (ver Figura IV-2) donde se observa la Formación Ene y Mitú, causa de diversas confusiones. 70
- Figura IV-4. Imagen satelital LandSat TM RGB bandas (4, 3, 2), muestra los afloramientos "mapeados", las dataciones bioestratigráfica y las secciones estructurales. SMT: corrimiento San Matías, CD: Cachiyacu Décollement (corrimiento cachillacu). 71
- Figura IV-5. Cortes estructurales en los afloramientos de San Matías y su correspondencia con los puntos del IRD 2006-1995. 72
- Figura -IV-6. DEM (Digital Elevatin Model, Nasa) mostrando la información geológica con atributos geográficos, compilados en las campañas de campo de las compañías ELF, OXY y PANENERGY. 85
- Figura IV-7. Oxapampa 7-1 (ELF modificado), donde se aprecian las principales formaciones estudiadas, las descripciones litológicas y los registros eléctricos. Ubicado en el anticlinal de Iscozacín, en el mapa de la Figura IV-12 . 89
- Figura IV-8. Pozos Oxapamapa 7-2 y 17C-1 el primero, en el eje del anticlinal Palcazú y el segundo en el extremo norte del anticlinal de San Matías; mostrando ambos los contactos formacionales (Figura IV-12). 90
- Figura IV-9. Pozo Oxapampa 19-1 (Figura IV-12) mostrando las series sedimentarias y registros eléctricos trazados. Un detalle particular de esta es en la base del pozo, que comúnmente fue atribuida a la formación Sarayaquillo. Ahora según nuestras correlaciones (Figura IV-13) y las descripciones del pozo estas podrían corresponder a las secuencias clásticas del grupo Mitú (Figura IV-12). 91
- Figura IV-10. Pozo Oxapampa 19-2, mostrando las series sedimentarias y los registros eléctricos trazados. Ubicado en el anticlinal de Palcazú (Figura IV-12) al este del pozo Oxapampa 19-1. 92
- Figura IV-11 Correlación estratigráfica de la formación Ene en San Matías, Pongo de Paquitzapango (Laigh & Rejas, 1966) y el área de Camisea (Chung, et. al. en Inf. Final Pluspetrol-IRD 2006) 95
- Figura IV-12. DEM (SRTM, NASA) mostrando la ubicación de los pozos, afloramientos y estructuras que son objeto de correlación. 96
- Figura IV-13. Correlación de pozos exploratorios Oxapampa orientados S-N mostrando las series sedimentarias involucradas. Notar que las series paleozoicas se adelgazan al noreste, de la misma manera la formación pucara, presentando esta niveles de sal (Halita y Anhidrita) que nos lleva a pensar en un diapirismo que probablemente levanto en el jurásico inferior y provoco la erosión de las secuencias del Sarayaquillo, estando esta ausente. Por otra parte, las series cretácicas y terciarias se presentan concordantes, teniendo esta última espesor mayor a 100m. 97
- Figura IV-14. Diagrama Litoestratigráfico de la región de la Cuenca Pachitea, desde la cordillera oriental hasta el "foredeep" amazónico, compilado a partir de los trabajos de ELF, 1999; GIL, 2002 y IRD1995-2006. 99

FOTOS

- Foto -1: Arenisca eólica cuarzosa de la Formación Ene, de granos finos, redondeados a semi-redondeados con puntos blancos dentro de la matriz intercalados con niveles negros (HC). Registrado en el tramo de la carretera de San Matías con el punto PAC033. 73
- Foto -2. Areniscas masivas eólicas en el tramo de la carretera a San Matías, punto PAC034. 74
- Foto -3. Muestra las estratificaciones oblicuas de alto ángulo en las arenisca eólicas del tramo de

La Sub-Cuenca Pachitea: Estructura, Nueva Estratigrafía y Potencial Hidrocarburífero

| | |
|--|----|
| <i>la carretera a San Matías, registrado en el punto: PAC035.</i> | 75 |
| <i>Foto -4: Conglomerado del Grupo Mitú donde se observa los tamaños de los clastos, de guijarros a cantos y la escala de estos, registrado en el tramo de la carretera a San Matías con el punto: PAC042.</i> | 76 |
| <i>Foto -5: Clasto perteneciente al conglomerados del Grupo Mitú presentando franjas rosadas (Feldespatos potásicos) y estructuras de flujo, coladas de lava.</i> | 77 |
| <i>Foto -6. Conglomerado del Grupo Mitú con clastos de guijarros a cantos de riolita, redondeados, de mediana a alta esfericidad, con matriz de limos y arenas; y estructuras tipo Debris Flow. Reportado en la carretera a San Matías con el punto: PAC043.</i> | 77 |
| <i>Foto -7: Arenisca cuarzosa de la Formación Cushabatay presentando facies conglomeráticas y microconglomeráticas. El tamaño de grano es fino a medio con escaso cemento, reportado en el tramo de la carretera a San Matías con el punto: PAC048.</i> | 79 |
| <i>Foto-8. Areniscas de la Fm. Cushabatay, carretera a San Matías. Vista hacia el NE mostrando los potentes bancos de areniscas. Los estratos buzcan al SW, siendo registrado con el punto: PAC041.</i> | 80 |
| <i>Foto -9. Calizas finas gris oscuro de la Fm. Chonta, reportado en el punto de afloramiento PAC052.</i> | 80 |
| <i>Foto -10. Areniscas cuarzosas finas y compactas con rizaduras de la Fm. Vivian, registrado en con el punto: PAC054, cercano al poblado de Bella esperanza, carretera a San Matías.</i> | 83 |
| <i>Foto-11. Lutitas negras deformadas de la Fm. Cachiyacu, registrada en la carretera a Iscozacin con el punto: PAC070. Vista en la margen izquierda del Río Palcazú.</i> | 83 |
| <i>Foto -12. Lutitas negras con fragmentos de fósiles de braquiópodos, datada por palinología del Campaniano-Maastrichtiano y registrada con en el punto: PAC058. Cerca de Bella Esperanza.</i> | 84 |
| <i>Foto -13. Formación Huchpayacu, registrado con el punto: PAC071. Carretera a Izcocazín.</i> | 84 |

TABLAS

| | |
|--|----|
| <i>Tabla -1. Relación de Pozos por año de perforación, empresa, coordenadas (WGS 84) y la profundidad que alcanzo en la perforación.</i> | 86 |
| <i>Tabla -2. Relación de pozos con sus respectivos registros, notar que en el pozo Oxapampa 17C-1 solo cuenta con registro litológico.</i> | 87 |

CÁPITULO V

| | |
|---|-----|
| <i>Figura V-1.- Mapa satelital RGB (4, 3, 2) mostrando los principales datos de TOC y Ro compilados hasta la fecha.</i> | 106 |
| <i>Figura V-2.- Pozo Oxapampa 7-1, detalle de los horizontes con información geoquímica de las dos compañías que realizaron análisis geoquímicos.</i> | 107 |
| <i>Figura V-3.- Pozo Oxapampa 19-1 mostrando los horizontes con trazas de gas registrados en las pruebas de pozo por parte de CERROPET.</i> | 108 |
| <i>Figura V-4.- Pozo Oxapampa 19-2 mostrando los horizontes con trazas de gas registrados en las pruebas de pozo por parte de CERROPET.</i> | 109 |
| <i>Figura V-5.- Diagrama de determinación del tipo de kerogeno de los resultados de la Tabla V-8, en los niveles Cretácicos (Perupetro).</i> | 110 |
| <i>Figura V-6.- Columna estratigráfica (ELF) a nivel de Nevati, parte occidental de las montañas del Shira (Figura V-1) presentando información geoquímica y el control estratigráfico del mismo.</i> | 111 |
| <i>Figura V-7.- Datos Oxapampa 7-1, infiriendo la formación Ene, miembro Nia que aflora en San Matías con el fin de modelar.</i> | 114 |
| <i>Figura V-8.- Datos de campo y columna estratigráfica que permite la simulación de pozo ficticio de San Matías.</i> | 114 |

La Sub-Cuenca Pachitea: Estructura, Nueva Estratigrafía y Potencial Hidrocarburífero

| | |
|--|-----|
| <i>Figura V-9.- Calibración con valores de BHT del pozo Oxapampa 7-1 corregidos, ubicado en el anticlinal de Iscozacín (Figura V-1)</i> | 115 |
| <i>Figura V-10.- Calibración del pozo Oxapampa 7-1 con un valor de Ro en las secuencias del Cretácico superior, AguaCaliente –Raya.</i> | 115 |
| <i>Figura V-11.- Molelización de Ro del pozo ficticio ubicado en la Cordillera de San Matías, (Figura V-1) calibrado a partir de datos de Ro en afloramiento.</i> | 116 |
| <i>Figura V-12.- Hidrocarburos que entran en ventana de generación, Formación Ene y Grupo Pucara.</i> | 118 |
| <i>Figura V-13.- Hidrocarburos en ventana de expulsión, notar que la formación Ene es la única que entra en esta fase.</i> | 118 |
| <i>Figura V-14.- Figura que muestra el estado de expulsión de hidrocarburo en el pozo Oxapampa 7-1 en el Cretácico medio 100 Ma.</i> | 119 |
| <i>Figura V-15.- Adicionalmente a la figura anterior, esta muestra el tiempo de expulsión de hidrocarburos generados por la Formación Ene.</i> | 119 |
| <i>Figura V-16.- Grafico donde se muestra que las rocas paleozoicas de la formación Cabanillas, Ambo y Ene entran en ventana de petróleo.</i> | 121 |
| <i>Figura V-17.- Grafico que muestra el inicio de la expulsión de la formaciones paleozoicas.</i> | 121 |
| <i>Figura V-18.- muestra el estado e inicio de expulsión de la formación Copacabana, Ambo y Ene. En el Albiano, (105 Ma) para la primera, en el Oligoceno (25 Ma) para la segunda y en el Paleoceno (60 Ma) para la última .</i> | 122 |
| <i>Figura V-19.- Gráfico que muestra el inicio de la expulsión de HC en el Albiano (105 Ma) y su máxima expulsión en el Paleoceno Sup. (55 Ma) de la Formación Cabanillas en el pozo ficticio de San Matías.</i> | 122 |
| <i>Figura V-20.- Gráfico que muestra el inicio de la expulsión en el Oligoceno (25 Ma) y su máxima expulsión en el Mioceno (18 Ma) de la Formación Ambo.</i> | 123 |
| <i>Figura V-21.- Gráfico que muestra el inicio de la expulsión en el Paleoceno(62 Ma) y su máxima expulsión en el Eoceno (50 Ma) de la Formación Ene.</i> | 123 |

TABLAS

| | |
|---|-----|
| <i>Tabla V-1.- Primera tabla: Contenido orgánico de la roca generadora. El valor de corte mínimo para las lutitas se considera normalmente un contenido orgánico total (TOC) de 0.5%. En el otro extremo, algunos geocientíficos sostienen que es posible tener demasiada materia orgánica. El exceso de kerógeno puede rellenar los espacios porosos que de lo contrario podrían ser ocupados por hidrocarburos (Schlumberger). En la segunda tabla se observan los valores de TOC en función del Potencial petrolero de la materia orgánica (Peters et al., 1994) el cual tiene cierta semejanza con la primera tabla pero esta es más conservador.</i> | 101 |
| <i>Tabla V-2 Niveles de madurez termal de la materia orgánica, relación entre la vitrinita (Ro) y el Tmax (Peters et al., 1994).</i> | 102 |
| <i>Tabla V-3. Valores de potencial de petróleo según los rangos que manejan las empresas operadoras Schlumberger.</i> | 102 |
| <i>Tabla V-4.- Mostrando el carácter de los hidrocarburos expulsados y su relación con los parámetros HI, OI, y tipo de kerogeno (Peters et al., 1994).</i> | 103 |
| <i>Tabla V-5 La tabla muestra los análisis de TOC de algunos datos de campo de IRD 2006.</i> | 103 |
| <i>Tabla V-6 .- Análisis de reflectancia de vitrinitas de los mismos datos de campo IRD 2006 de la tabla anterior, por Héctor Villar 2007, Convenio IRD-Perupetro.</i> | 104 |
| <i>Tabla V-7.- Análisis de muestras del pozo oxapampa 7-1x (DGSI. Murphy Peru Oil co, para PERUPETRO, 1996)</i> | 105 |
| <i>Tabla V-8 Análisis de muestras del Pozo Oxapampa 7-1 con la única muestra con Ro.</i> | 105 |

CÁPITULO VI

Figura VI-1.- Mapa satelital Landsat mostrando los campos de hidrocarburos en la Cuenca

La Sub-Cuenca Pachitea: Estructura, Nueva Estratigrafía y Potencial Hidrocarbúrico

| | |
|--|-----|
| <i>Pachitea, los oil seep y la disposición de la cocina de la cuenca</i> | 126 |
| <i>Figura VI-2.- Fotografías de reconocimiento del pozo Oxapampa 19-1 por PANENERGY (1998); a) fotografía que muestra remanentes de gas en el pozo, b) tapa del "casing" del pozo, c) y d) prueba inicial y final del llenado de una muestra de gas para análisis por cromatografía.</i> | 127 |
| <i>Figura VI-3 Cromatograma donde muestra las abundancia de los componentes de HC de la muestra PAC033, los picos muestran los contenidos y tipo de HC de la muestra.</i> | 133 |
| <i>Figura VI-4.- Diagrama estratigráfico de las secuencias sedimentarias mostrando la relación con el sistema de petróleo, de la Sub-Cenca Pachitea y el alcance de estos de oeste a este (modificado de Baby et al., 2007).</i> | 136 |
| <i>Figura VI-5.- Niveles de investigación en exploración por petróleo (modificado de Magoon y Dow, 1994)</i> | 140 |
| <i>Figura VI-6.- Mapa DEM mostrando los posibles "Plays" de exploración con estructuras potenciales para ser evaluados en la Sub-Cuenca Pachitea (explicación en el texto).</i> | 141 |

FOTOS

| | |
|---|-----|
| <i>Foto VI-1 Areniscas eólica de la formación Ene, ubicado en el punto: Pac033, carretera a San Matías, mostrando los niveles negros analizados por cromatografía (© IRD / P. Baby)</i> | 133 |
| <i>Foto VI-2.- Areniscas de la Formación Cushabatay con niveles conglomeraticos que aumenta su porosidad. (© IRD / P. Baby)</i> | 134 |

TABLAS

| | |
|---|-----|
| <i>Tabla VI-1.- parámetros que intervinieron en la caracterización de la materia orgánica del PAC033</i> | 132 |
| <i>Tabla VI-2.- Mostrando los niveles de importancia en la exploración de "plays" y prospectos hidrocarbúricos (Tomada de Magoon y Dow, 1994)</i> | 139 |

ANEXOS

| | |
|---|-----|
| <i>Anexo 1.- Mapa geológico de Occidental en el bloque 21 (2003) mostrando las campañas de campo que circundan la cuenca Pachitea.</i> | 152 |
| <i>Anexo 2.- Mapa geológico de PANENERGY con levantamientos de campo en la parte oeste de San Matías.</i> | 153 |
| <i>Anexo 3.- Mapa geológico de ELF (1999) regional con el levantamiento de secciones en San Matías y Nevati.</i> | 154 |
| <i>Anexo 4.- Mapa geológico del INGEMMET (21M) que abarca parte de la cordillera de San Matías y el flanco oeste de l mismo.</i> | 155 |
| <i>Anexo 5.- Sección estructural balanceada al tope de la Formación Cushabatay. Al centro de la sección se muestra la culminación del corrimiento de san Matías como un pliegue de propagación de falla, y debajo de este, una inversión de un semigraben pérmico-triásico.</i> | 156 |
| <i>Anexo 6.- Columna estratigráfica de los afloramientos de San Matías con sus correspondientes datos de campo de IRD 1995 y IRD 2006(puntos rojos).</i> | 157 |
| <i>Anexo 7.- Mapa geológico final de la Sub. Cuenca Pachitea, elaborado a partir de datos de IRD1995, 2006 e información de campañas de campo anteriores (PANENERGY, OXY y ELF).</i> | 158 |
| <i>Anexo 8. Tabla con los datos estructurales y estratigráficos de la campaña de campo IRD 2006 que comprende los afloramientos de Puente Paucartambo y la cordillera de San Matías.</i> | 162 |

CÁPITULO I

| | |
|---|-----------|
| CÁPITULO I ASPECTOS GENERALES | 1 |
| 1.1 Ubicación y extensión | 1 |
| 1.1.1 Accesibilidad | 1 |
| 1.1.2 Áreas Naturales Protegidas..... | 3 |
| 1.1.2.1 Parque Nacional Yanachaga – Chemillén..... | 3 |
| 1.1.2.2 Bosque de Protección San Matías - San Carlos | 3 |
| 1.1.2.3 Reserva Comunal Yanesha | 3 |
| 1.1.2.4 Bosque Nacional Alexander Von Humboldt | 3 |
| 1.1.3 Geomorfología..... | 4 |
| 1.1.4 Entorno Biofísico..... | 5 |
| 1.1.4.1 Clima | 5 |
| 1.1.4.2 Precipitación | 5 |
| 1.1.4.3 Humedad Relativa | 6 |
| 1.1.4.4 Viento | 6 |
| 1.2 Planeamiento del problema y objetivos del trabajo..... | 6 |
| 1.3 Metodología | 7 |
| 1.4 Trabajos Anteriores..... | 10 |

CÁPITULO I ASPECTOS GENERALES

1.1 Ubicación y extensión

La Sub-Cuenca Pachitea se encuentra ubicada en el extremo noroeste, entre los 09° y 11° de latitud sur y los 74° y 76° de longitud oeste formando parte de la Cuenca Ucayali Norte. Comprende los departamentos de Pasco y Huanuco; abarca aproximadamente 14,300 km², parte central del Subandino y de la Cordillera Oriental (*Figura I-1*). Dentro de los límites se encuentran sectores de reservas naturales: Reserva Comunal Yanasha y de 3 áreas naturales protegidas: Parque Nacional Alexander Von Humboldt, Parque Nacional Yanachaga – Chemillen y el Parque de Protección San Matías - San Carlos (*Figura I-3*).

Hydrográficamente, el área está delimitada entre los ríos Palcazú y Pichis conformando una cuenca común denominada “Sub-Cuenca del Pachitea”, que cuenta a su vez con afluentes y ríos secundarios entre los cuales, en la parte sur encontramos el río Chuchurras y el Río Iscozacín. En esta última zona, se efectuaron las salidas de campo de reconocimiento, así como también en la cordillera de San Matías.

Geomorfológicamente, presenta estructuras predominantes: cumbres, laderas, planicies, colinas bajas, terrazas fluviales y valles encañonados. Las alturas oscilan entre los 300 m y 4500m (ver *Figura I-4*).

1.1.1 Accesibilidad

El área de estudio es accesible por vía terrestre y fluvial.

Por vía terrestre, partiendo de Lima, se recorre los departamentos de Junín y Pasco con aproximadamente 350 km en carreteras principales como: la carretera Central, seguidamente Millpo y las rutas alternas al NE. En esta ruta se aborda la carretera del poblado de Río Seco avanzando hasta los límites de departamento de Pasco, Puente Paucartambo y siguiendo al NNE hasta los poblados de Villa Rica, Oxapampa y Puerto Bermudes (*Figura I-2*). No obstante estas vías son causa de constantes asaltos, resultado de la insuficiencia del personal policial y se sugiere tomar las medidas del caso para viajar con seguridad.

Por vía fluvial, el acceso a la Sub-Cuenca Pachitea se realiza por los ríos Palcazú y Pichis, siendo esta vía la más transitada por las comunidades nativas de la zona. Estas se realizan en épocas de poco estiaje debido a las precipitaciones frecuentes. A pesar de contar con lugareños que conocen bien la zona, es recomendable contar con las debidas autorizaciones de las comunidades nativas, a través de sus representantes, con el fin de no presentar percances, sabiendo de antemano que es una zona con grandes áreas vírgenes y con actividad cocalera.

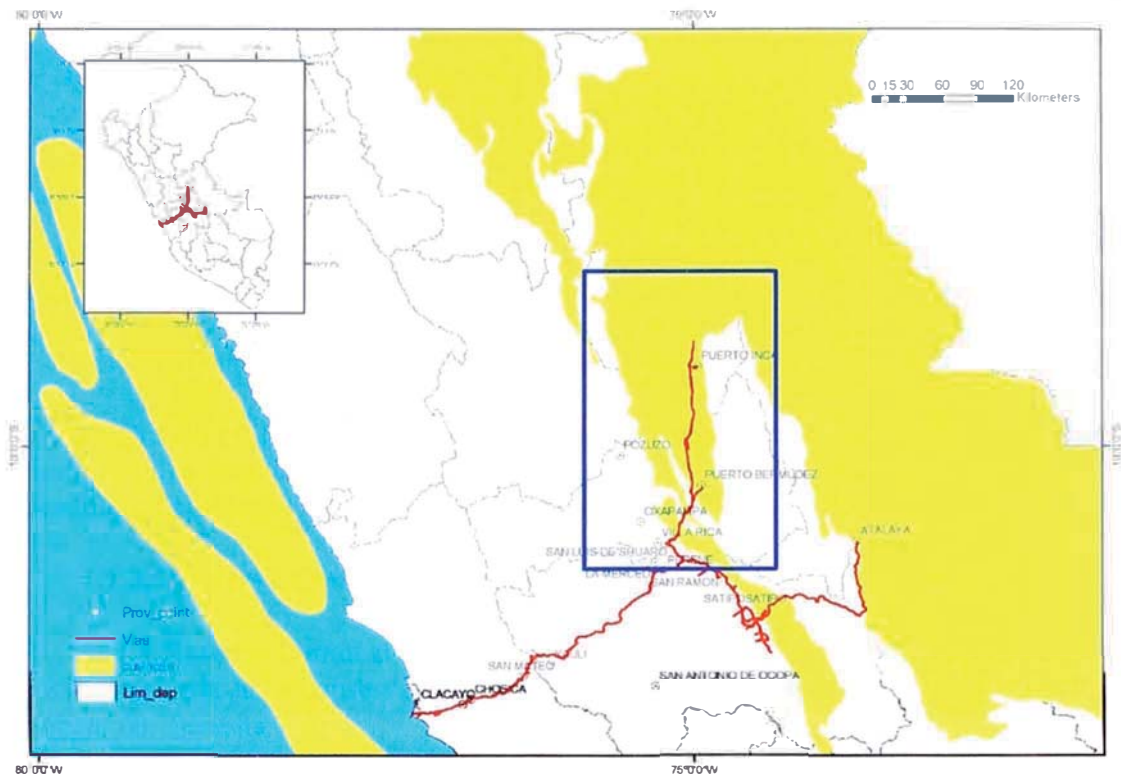


Figura I-1.- Mapa Geográfico (fuente IGN) donde se muestra la Sub- Cuenca Pachitea como parte de las cuencas subandinas, y sus límites geográficos. El recuadro azul corresponde al área de estudio.

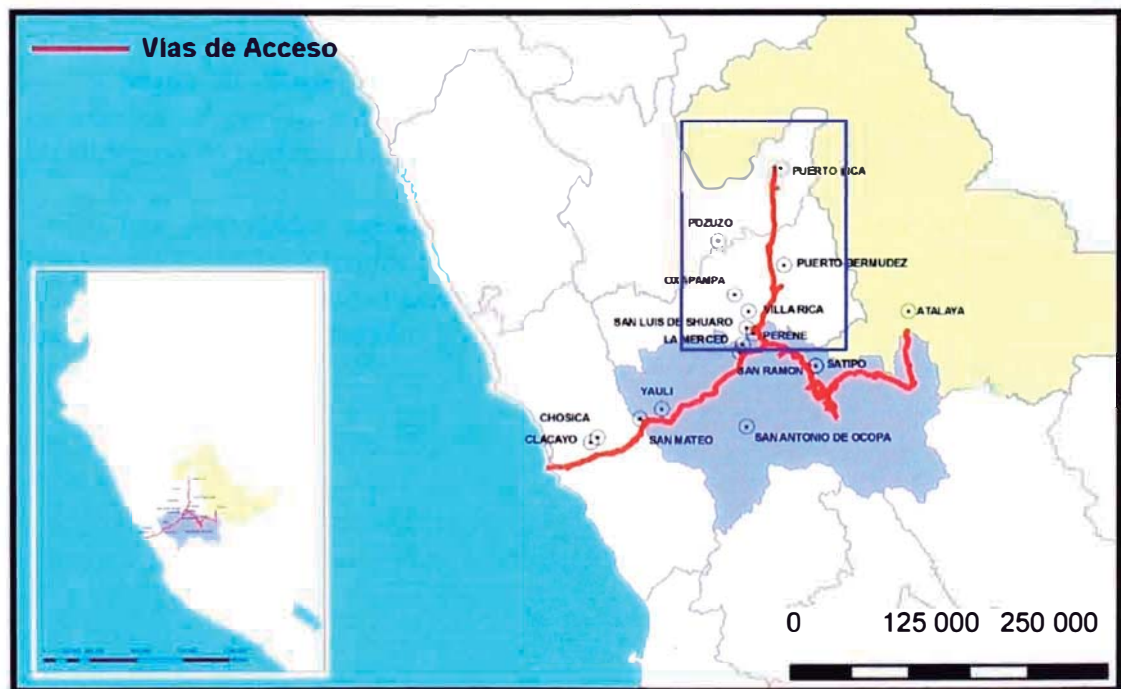


Figura I-2.- Mapa geográfico (fuente del IGN) donde se aprecia las rutas principales de acceso terrestre y los poblados más cercanos. Estas comprenden tramos asfaltados desde la carretera central hasta el límite del departamento de Junín con Pasco, de allí en adelante los caminos son afirmados y de herradura.

1.1.2 Áreas Naturales Protegidas

1.1.2.1 Parque Nacional Yanachaga – Chemillén

Creado el 28 de Agosto de 1986 con una superficie de 122 000 ha, tiene como objetivo conservar zonas representativas de los ecosistemas de puna, selva alta y selva baja localizadas en la parte central del Perú.

1.1.2.2 Bosque de Protección San Matías - San Carlos

Creado el 20 de marzo de 1987 con una superficie de 145 818 ha, su paisaje dominante es montañoso, y ocupa pisos cuyas altitudes van desde los 350 m en la cordillera San Matías hasta los 2 000 m en la cordillera San Carlos

1.1.2.3 Reserva Comunal Yanesha

La Reserva Comunal Yanesha de 34 744,70 ha fue creada el 28 de Abril de 1988 destinada a la conservación de la flora y fauna silvestre, en beneficio de la población Yanesha.

1.1.2.4 Bosque Nacional Alexander Von Humboldt

El Bosque Nacional Alexander Von Humboldt fue creado en 1965. Su área oficial actual es de 469 744 ha de las cuales 138 000 ha se han cedido para la ejecución del Proyecto PD 95/90 (F) Manejo Forestal del Bosque Alexander Von Humboldt.

Según el Mapa Forestal del Perú, predominan los bosques de colinas caracterizados por su mayor riqueza forestal, en cuya composición florística se identificaron 46 familias, 166 géneros y 308 especies.

Las actividades agropecuarias en la periferia del Bosque Nacional están legalmente limitadas a franjas de 3 y 2 km de ancho a ambos lados de las carreteras y ríos grandes, pero en todo el ámbito de influencia entre 1955 y 1986 se deforestó una tasa promedio de 3 495 ha/año.

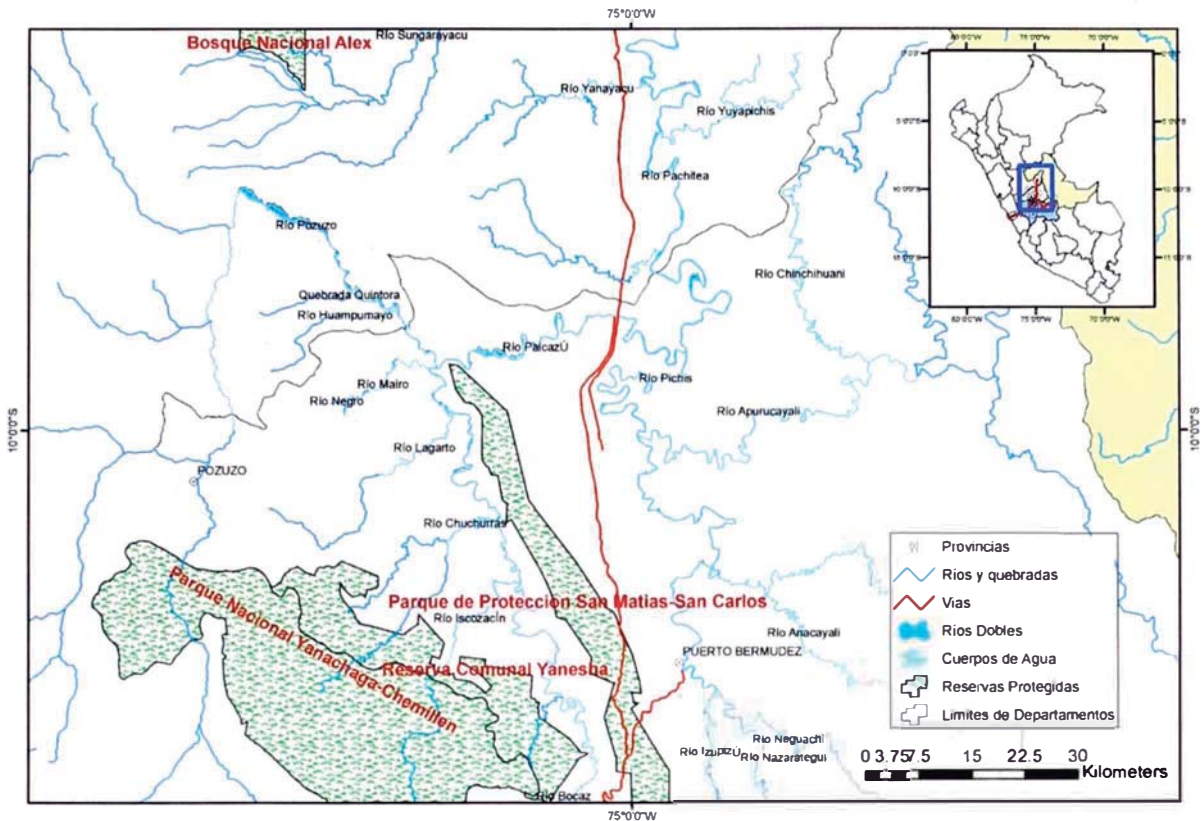


Figura I-3.- Mapa Geográfico (fuente IGN) de la zona de estudio, donde se aprecian las áreas naturales protegidas representando gran parte del área de estudio (color verde).

1.1.3 Geomorfología

Sobre la base de imágenes de Satélites LandSat TM 7 y los DEM (SRTM de la Nasa) (Figura I-4), se ha determinado las geoformas que predominan en el área de estudio, las que resultan de la interacción de factores tectónicos y climáticos, que controlan el crecimiento de relieves y la erosión. Desde el punto de vista geomorfológico, las principales geoformas son las siguientes:

| | | |
|-----------|--------------------|--------------------|
| Cumbres | Laderas | Colinas Bajas |
| Planicies | Terrazas Fluviales | Valles Encañonados |

La Cuenca del Palcazú está formada por una depresión de origen tectónico entre dos cadenas de montañas: La Cordillera San Matías por el Este y la Cordillera Yanachaga por el Oeste, ambas orientadas de Sur a Norte, o Noroeste a Sureste. En su conformación estas cadenas presentan una fisiografía abrupta, fuertemente disectada dendriticamente por varios ríos y riachuelos.

Al Sur de Shiringamazu, las cordilleras Yanachaga y San Matías se unen para formar una compleja masa montañosa cortada por el Río Palcazú y sus ríos cabeceros. El fondo original de la depresión que formó el valle fue rellenado posteriormente por grandes abanicos aluviales de sedimentos provenientes de la erosión de la Cordillera Yanachaga.



Figura I-4.- DEM (Modelo digital del terreno: www.nasa.gov.) donde se aprecia las diferentes geoformas de la Sub-Cuenca Pachitea. Se notan los ríos principales que bordean la cuenca, la cordillera de San Matías como estructura sobresaliente en el centro de la cuenca, y los flancos límites como son el Alto del Shira al este y la Cordillera Oriental hacia el oeste.

1.1.4 Entorno Biofísico

1.1.4.1 Clima

Las temperaturas máximas promedio más elevadas se registran en la estación de primavera.

A nivel anual, la temperatura mínima, en promedio, presenta valores entre 18 y 20°C. La zona de estudio presenta un número mínimo de estaciones meteorológicas que reportan temperaturas y humedades, por lo que es difícil detectar en los promedios mensuales los efectos de los "fríales".

1.1.4.2 Precipitación

En todas las estaciones de la zona de estudio, las precipitaciones presentan dos máximos correspondientes entre octubre a diciembre y febrero a marzo. El máximo de precipitación en el verano es de mayor intensidad.

Las precipitaciones disminuyen en los meses de invierno (julio), totalizando valores entre 80 a 100 mm mensuales, en gran parte de la zona de estudio. Las precipitaciones en el verano oscilan entre 250 a 300 mm mensuales, en la parte norte y central del área de estudio, incrementando a 350 mm en la parte sur. Las precipitaciones totales anuales en el área de estudio alcanzan valores entre 2000 a 3000 mm.

1.1.4.3 Humedad Relativa

En todas las zonas aledañas al área de estudio la humedad relativa media es alta durante todo el año, registrando en promedio del 80 al 92 %.

1.1.4.4 Viento

En verano, la dirección de vientos más frecuente es de componente norte y noreste. La velocidad máxima fluctúa entre 10 a 11 m/s en el invierno, mientras la velocidad media es de 2 a 5 m/s.

1.2 Plancamiento del problema y objetivos del trabajo

La cuenca Ucayali ha sido explorada desde los años 40, no obstante gran parte de su superficie permanece inexplorada mediante pozos. Los datos de sísmica registrados es aproximadamente de 713 Km. entre sísmica 2D y 3D, las cuales fueron registrados por las diferentes compañías operadoras. Dentro de la cuenca Ucayali, se perforó 47 pozos.

Uno de los principales problemas en la exploración por hidrocarburos es el entendimiento del calendario (timing) de generación/migración/entrapamiento de HC. La evolución de los sistemas petroleros está controlada directamente por la evolución geodinámica de las cuencas de antepaís subandinas. En tal sentido, es importante entender primeramente los mecanismos de estructuración, deformación y sedimentación de estas cuencas a través el tiempo, para posteriormente integrar parámetros petrolíferos y determinar las futuras tendencias exploratorias para descubrir nuevos yacimientos de hidrocarburos.

En la Sub-Cuenca Pachitea, la poca información de los pozos y la escasa información sísmica han hecho que la exploración de esta zona se haya restringido solo a pequeños sectores. El objetivo de este presente estudio pretende dar a conocer un mejor entendimiento de los elementos y procesos que se han suscitado a lo largo de la historia geológica, basándose en la información existente, campañas de campo y trabajos de investigación desarrolladas en el marco del convenio PERUPETRO – IRD – PETROLIFERA.

Los objetivos del presente estudio son:

1. Crear una base de datos GIS completa del proyecto que permita definir las secuencias en estudio y gestionar la información geográfica y geológica.
2. Realizar un análisis geométrico y cinemática del sistema de corrimientos de la sub-Cuenca Pachitea, con énfasis a su estructura principal: la Cordillera de San Matías.
3. Revisar la estratigrafía y la sedimentología de la formaciones geológicas aflorantes y de registros de pozos involucradas en la deformación, las cuales han registrado la dinámica del Sistema de Antepaís controlado por la tectónica andina.
4. Analizar y ensayar modelamientos de los posibles y probados sistemas petroleros, a partir de las conclusiones geodinámicas obtenidas.

1.3 Metodología

Adquisición de datos de campo: Estos datos de campo se clasifican de dos tipos: El primer de ellos, comprende la campaña de campo desarrollada en la presente tesis (07 días) a partir del 28 de mayo del 2006, en las localidades de Villa Rica - Puerto Bermúdez, organizada por el IRD y con participación de PERUPETRO-PETROLIFERA-PLUSPETROL. La adquisición se realizó en cortes de carretera, trochas y caminos sin afirmar. El segundo tipo de datos comprende la compilación de datos estructurales en las libretas de campo de P. Baby (1995) y en el masterado de W. Gil (1996) de la misma zona, seguidamente se compilo datos estructurales de las campañas de campo de Occidental y PanEnergy (1999).

Procesamiento de Imágenes espectrales: El mapeo geológico fue el resultado de usar técnicas de procesamiento de imágenes satelitales, las cuales ayudados con la información de campo permiten seguir estructuras que sin tratamiento sería imposible notar. La resolución de las imágenes oscilan entre los 30 – 15 m. Dicho procesamiento de imágenes espectrales LANDSAT-TM y generación de mosaicos, fue resultado del trabajo en el entorno del software RSI ENVI, considerando las bandas espectrales 4, 3 y 2 en RGB, falso color, clasificado dentro del Infrarrojo Cercano NIR. Estas permiten resaltar los detalles morfológicos de las superficies, los detalles de caminos, cuerpos de agua y vegetación, en contraste con las imágenes LANDSAT, formato SID, distribuido igualmente por la NASA. Se encuentran grandes diferencias, los detalles en este nuevo procesamiento son notables y permiten tener un control de la geología regional.

Compilación de de datos y GIS: La elaboración nuestra base de datos GIS, permitió centrar la información, gestionarla y actualizarla, con el fin de ayudar en los diferentes análisis que involucran el presente estudio. Esta compilación ha partido de diferentes fuentes de información las cuales son: base de datos de PERÚPETRO, INGEMMET, IGN, datos descargados de sitios Web especializados y datos obtenidos de nuestras campañas de campo.

Los procesos que han involucrado esta elaboración, se resumen de la siguiente manera:

- recopilación de información a través de sus diferentes fuentes;
- validación de los datos, analógicos y digital;
- transformación de la información analógica a digital con atributos geográficos;
- generación del mosaico espectral con bandas LANDSAT-TM (30m – 15m);
- ajuste del modelo espectral con los datos reales de las campañas de campo;
- construcción de DEM;
- obtención de información geológica y geográfica a partir de los procesamientos de imágenes satelitales, DEM y campañas de campo;
- mapas temáticos generados.

La importancia del GIS (*Figura I-5*) radica en la simplificación de varios procesos, ahorro de trabajo y de tiempo comparado con los métodos tradicionales. Además, proporciona resultados de mejor calidad con información de posición, en lo cual radica su verdadero valor. Finalmente, se puede visualizar los procesos y resultados en una sola plataforma en tiempo real, ayudando en manera significativa en el análisis de las interpretaciones de los temas a evaluar.

Entre estos resultados de la aplicación del concepto de GIS podemos mencionar:

- Generación de Modelos Digitales del Terreno (DEM) con resolución de 90 m en formato SRTM (formato de elevación de la NASA), obtenidos del sitio web de la USGS ([HTTP://WWW.USGS.GOV/](http://www.usgs.gov/)), y procesados con el software MAPINFO y el modulo VERTICAL MAPPER. Resultando notables mejoras en los detalles de elevación comparada con la planimetría nacional del IGN. En consecuencia, se optó como base de planimetría de los DEM generados para el proyecto.
- Delimitación de la secuencias sedimentarias, que resulta de la suma de la información de los DEM, mapas de pendientes (SLOPS), mapas de aspecto (ASPECT, rumbos), imágenes satelitales y datos de las campañas de campo tanto del presente proyecto como de ELF (1995-96) y OXY (2003). La combinación de la información satelital y de elevación proporcionó modelos en 3D dinámicos. La combinación de los mapas de aspecto y de pendientes nos permitió extraer información de rumbos y buzamientos de los modelos numéricos (solo en formaciones con tendencia a conservar el buzamiento). En conclusión, en el área de Pachitea, se diferenciaron los rasgos estratigráficos y estructurales de las imágenes satelitales y DEM, permitiendo definir la construcción de secciones estructurales.

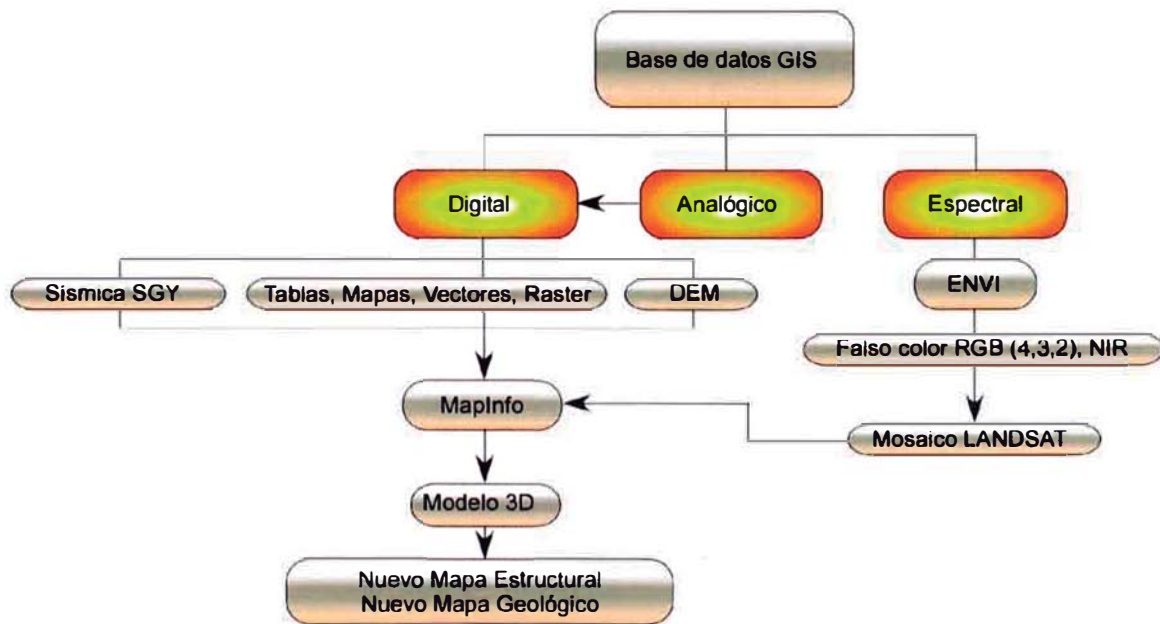


Figura I-5.- Estructura del GIS en el proyecto de tesis. Sub-Cuenca Pachitea.

Construcción e Interpretación de secciones sísmicas y datos de pozo: Para la construcción de secciones estructurales que atraviesan los afloramientos, han sido consideradas las secciones sísmicas en papel y digital, los datos de pozos, registros eléctricos y sintéticos teniendo un control con los datos estructurales de campo. Toda la información fue proporcionada por la base de datos de PERUPETRO.

Construcción de secciones estructurales balanceadas: Se utilizó este tipo de técnicas para reconstruir una sección estructural; el cual, en sí es un modelamiento geométrico que permite utilizar el relieve del terreno, la sísmica, la información de pozos y los datos de campo en la construcción de secciones estructurales (en compresión y extensión). La técnica de secciones balanceadas permite “modelar estructuras a partir de una sección estructural deformada (deformación finita) [la cual] permite restaurar la sección a un estado inicial y simular su deformación.” (Gil. Rodríguez 2001, pp.:8)

Construcción de mallas de sismicidad: Dentro del área de Pachitea, se realizaron diferentes adquisiciones de datos de sismos registrados desde los años 1938-2005 obtenidos del Instituto Geofísico Peruano (IGP) y del Servicio Geológico de los EE.UU. (USGS). Estos datos fueron procesados por métodos geoestadísticos de interpolación, siendo uno de ellos el método de inverso a la distancia con puntos vecindarios los que mejor detalle provee, permitiendo estos localizar los focos activos donde hay actividad tectónica y zonas de fallas. Resultando este un buen método indirecto.

Construcción de malla de gravimetría regional: A nivel de la Cuenca Ucayali y parte de la Sub-Cuenca Pachitea se adquirió datos de gravimetría regional realizado por TECNICA 2002. Los datos no son muy precisos pero reflejan en gran parte la densidad de las rocas distribuidas en la cuenca Sub-Cuenca Pachitea. De la misma manera que la malla de sismos se utilizaron el mismo procesamiento geoestadístico de los datos. Los resultados de estos han permitido conocer la variación de densidad de las rocas y sus tendencias en la cuenca Sub-Cuenca Pachitea.

Modelado de sistema petrolero: El modelamiento conlleva dos fases. Una primera relacionada a la geoquímica de hidrocarburos, a la caracterización de rocas madre - que esta relacionado con el medio sedimentario, el conocimiento de la composición orgánica y el grado de transformación diagenética o maduración mediante los análisis de pirólisis Rock-Eval (Espitalié, et al. 1977,1984)-. El cual nos condujo a usar la información geoquímica desarrolladas en este proyecto: 05 muestras IRD (2006), datos compilados por ELF e informes de evaluación geoquímica por PETROPERU y PERUPETRO. Finalmente, una segunda fase, la presentación e interpretación de los resultados previamente calibrados para lo cual se utilizó el Software Genex en el procesamiento de los datos de la primera fase. Reflejando la evolución de la cuenca y el desarrollo del sistema de petrolero.

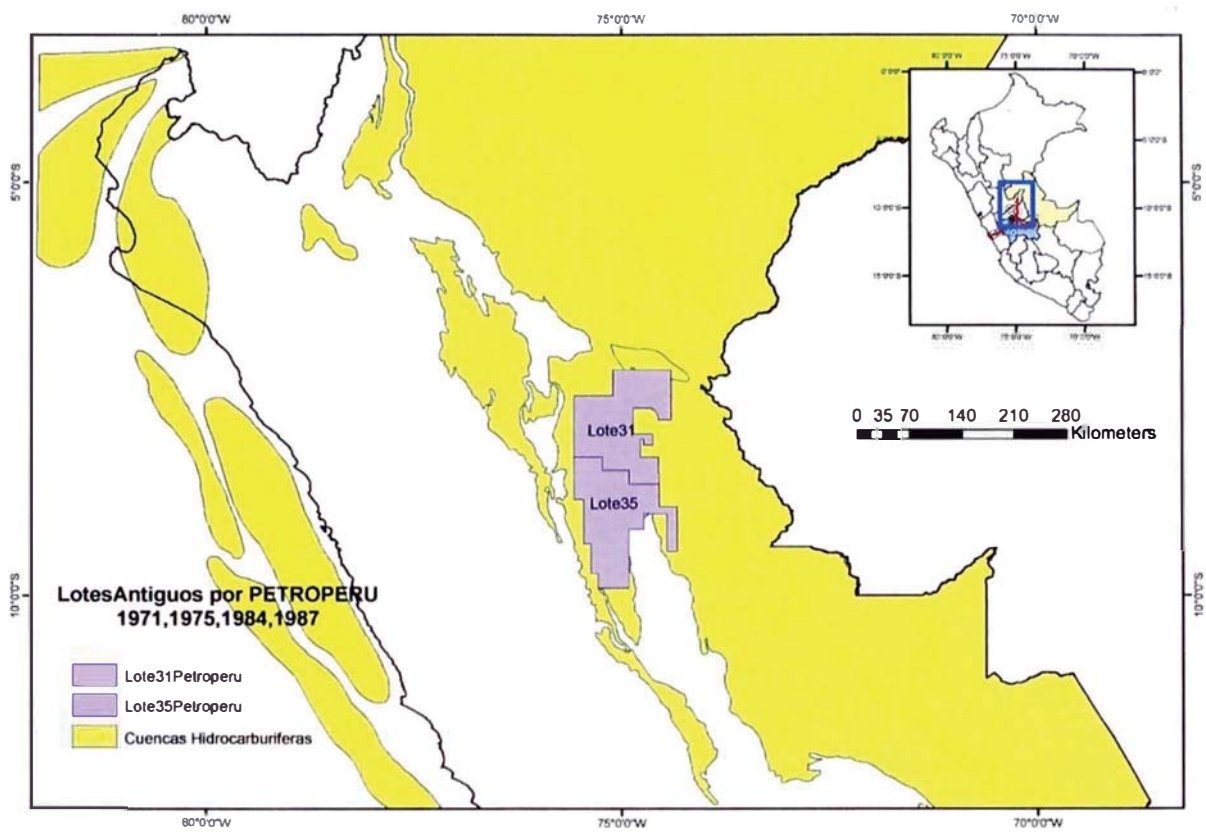
1.4 Trabajos Anteriores.

La Sub-Cuenca Pachitea, como parte de la Cuenca Ucayali, presenta una historia hidrocarburífera que data desde los años 1961. PETROPERU en conjunto con diferentes compañías desarrollo campañas de exploración como lo muestra los diversos lotes petroleros a través de los años (*Figura I-6*). Los pozos perforados en la Sub-Cuenca Pachitea ascienden a 05, los cuales datan de los años 1961 con el pozo Oxapampa 7-1, Oxapampa 7-2 hasta los años 1967 con el pozo Oxapampa 17C-1, sabiendo de antemano que en la Cuenca Ucayali se han perforado un total de 40 pozos.

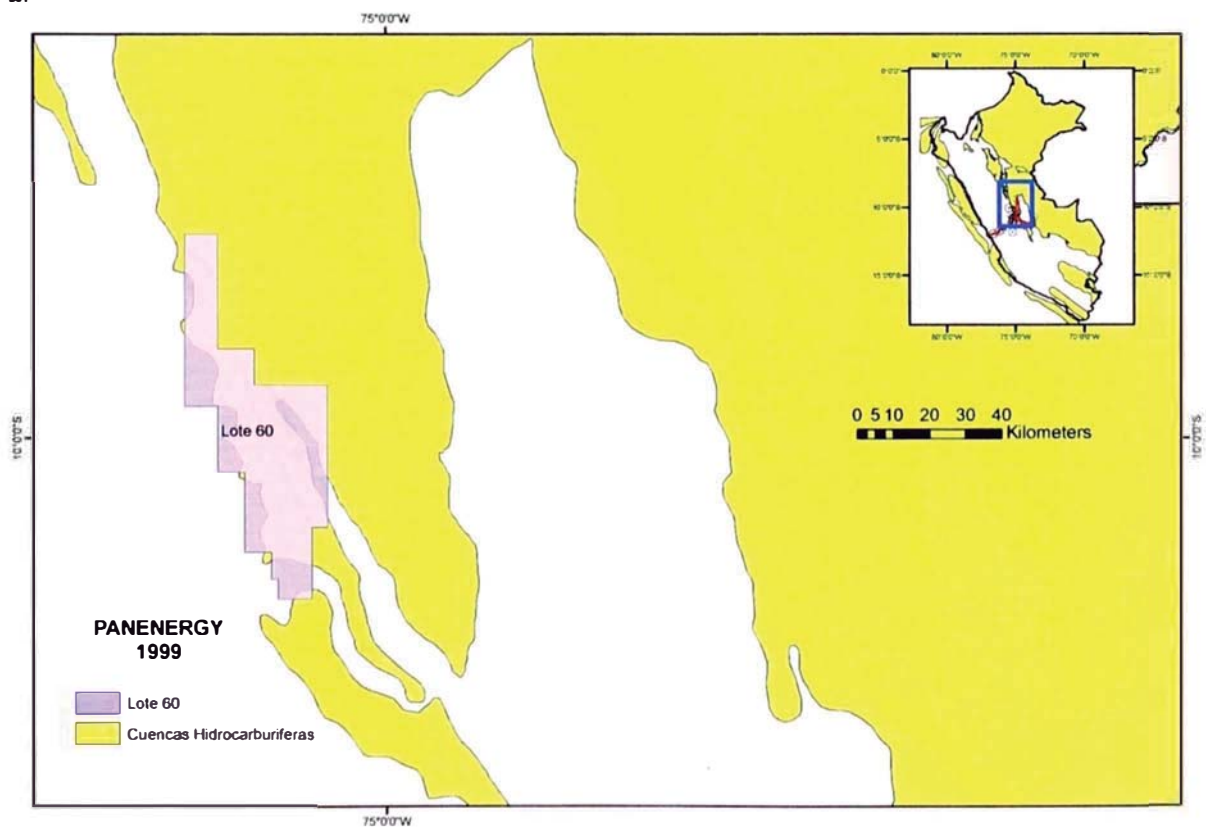
Cuatro de estos pozos perforados por la Cerro de Pasco Petroleum (CerroPET) y abandonados hace más de 45 años están dentro de los linderos de la Sub Cuenca Pachitea. Un quinto pozo, el Oxapampa 7-2, se encuentra dentro del Lote actual (lote 107). En los pozos Oxapampa 19-1 y 19-2, hubo indicios de gas natural en la formación Cushabatay. En el 19-2, también se registró evidencias de gas en la formación Agua Caliente. En el 17C-1, cantidades no letales de H₂S se recuperaron en una prueba de formación.

La sísmica igualmente escasa cubre 70.76km al sur del Pachitea y parte de la cordillera de San Matías. Siguiendo al norte de la cuenca Pachitea-Ucayali, con aproximadamente 11308 km, de líneas sísmicas, es insuficiente al compararlo con los 14000 km que cubre toda la Cuenca Ucayali (fuente: PERUPETRO). Cabe destacar, que las evaluaciones realizadas en la Cuenca Ucayali por PETROPERU y posteriormente por compañías exploradoras, evocaban sus planes de trabajo a las partes norte y sur de la Cuenca Ucayali, dejando un gran vacío de información en la Cuenca Pachitea.

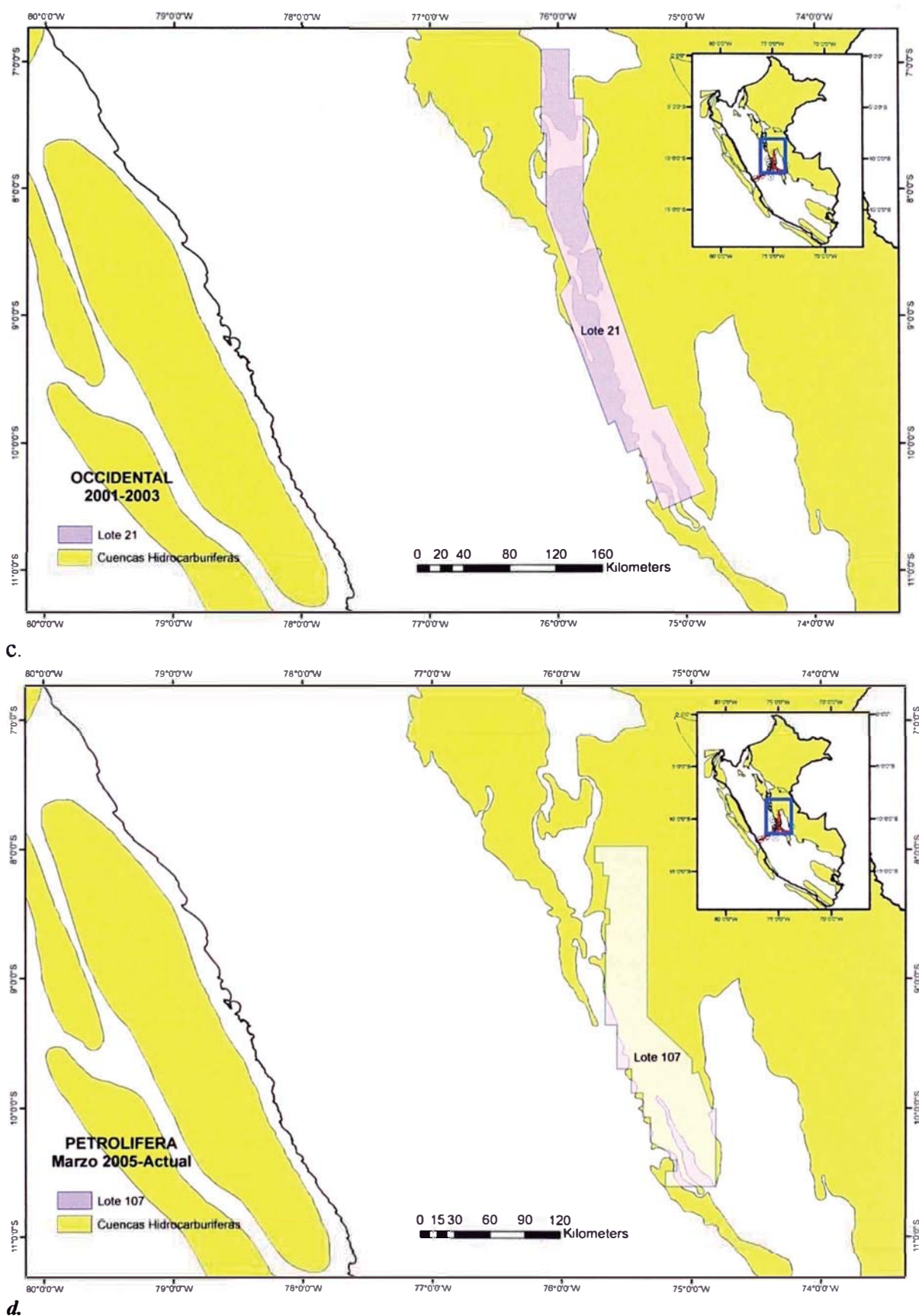
Estudios, evaluaciones geológicas y geofísicas han sido realizadas en la zona de la Cuenca de Pachitea, entre estas : investigaciones regionales y locales como es el caso de: GIL RODRIGEZ, Willy : “Evolución lateral de la deformación de un frente Orogénico: ejemplo de las cuencas subandinas ente los 0° y 16°” (2001); trabajos de compilación de información gravimétrica, magnétométrica y sísmica por parte de CARSON, 1995-2002; Evaluación de la cuenca Ucayali por parte de PARSEP, junio 2003, actualmente llamado GFEC (Grupo Funcional de Evaluación de Cuencas); trabajos de exploración por parte de la compañía Occidental (2003) en el Subandino que cubre algunas áreas de Pachitea; trabajos de campo de la compañía PANENERGY en quebradas circundantes a la Cordillera de San Matías en los años 1999; trabajos de evaluación geológica por la compañía PETROLIFERA que actualmente ocupa el lote 107; y finalmente los proyectos de investigación del IRD (Instituto de investigación por el desarrollo), patrocinado por el gobierno francés que evalúan las cuencas subandinas en convenio con PERUPETRO. Sobre la base de esta información y trabajos de evaluación regionales de la cuenca Ucayali se desarrolla la presente tesis, como parte del convenio IRD-PERUPETRO-PETROLIFERA.



a.



b.



d.

Figura I-6.- Mapas de Ubicación de lotes de contratos a lo largo de la historia de exploración de la Sub. Cuenca Pachitea. a) PETROPERU en los años 1971, 1975,1984 y 1987. b) PANENERGY en los años 1998, 1999. c) OCCIDENTAL en los años 2001-2003. d) PETROLÍFERA, desde marzo del 2005 hasta la actualidad (2007).

CAPITULO II

| | | |
|--------------------|---|-----------|
| CÁPITULO II | CONTEXTO TECTÓNICO | 13 |
| 2.1 | INTRODUCCIÓN | 13 |
| 2.2 | LA TECTÓNICA ANDINA | 13 |
| 2.3 | LA CUENCA DE ANTE-PAIS AMAZÓNICA | 14 |
| 2.3.1 | <i>Segmentación del antepaís (generalidades).</i> | 15 |
| 2.3.1.1 | La zona de depósito <i>wedge-top</i> | 17 |
| 2.3.1.2 | Zona de depósito <i>foredeep</i> | 17 |
| 2.3.1.3 | Zona de depósito <i>forebulge</i> | 17 |
| 2.3.1.4 | Zona de depósito <i>Back-bulge</i> | 17 |
| 2.3.2 | <i>El papel del Cenozoico en las cuencas de Antepaís Amazónicas</i> | 18 |
| 2.4 | LAS CUENCAS SUBANDINAS: LÍMITES Y GRANDES RASGOS ACTUALES | 19 |
| 2.5 | LA SUB-CUENCA PACHITEA (GENERALIDADES) | 20 |

CÁPITULO II CONTEXTO TECTÓNICO

2.1 Introducción

La cuenca de Antepaís Amazónica es el resultado de diferentes eventos tectónicos relacionados entre si, los cuales han sido estudiados por diferentes investigadores. Trabajos realizados por Dalmayrac et al. (1988), Gil (2001), Hermoza (2004) y el grupo del convenio IRD-PERUPETRO sobre la evolución geológica de los Andes representaran nuestra base para dar un panorama general en el entendimiento de las estructuras que tenemos en la actualidad y en especial nuestra cuenca de estudio.

Los conceptos generales de cuencas subandinas, su segmentación y zonas de aporte mostraran las relaciones ente los eventos tectónicos y la disposición de estas cuencas a lo largo del frente de corrimiento subandino.

Este capítulo tiene como fin dar un marco tectónico y sedimentario referencial a partir de los avances e investigaciones realizados hasta la fecha por diversos autores, los cuales permitirán el desarrollo de estos en los capítulos posteriores.

2.2 La Tectónica Andina

La tectónica andina y subandina ha despertado gran interés en los últimos años. Trabajos de Audebaud et al. (1973) y Mégard (1973) denominan a esta como "Ciclo Andino", siendo esta una serie de eventos tectónicos que se inicia desde el Triásico superior y continua hasta la actualidad. La cadena de los Andes es el resultado de estos eventos sucesivos, que han determinado la subdivisión de la cadena en zonas paralelas al transporte tectónicos (Dalmayrac et al., 1988). La tectónica andina compresiva propiamente dicha comienza en el Cretácico superior en las cuencas subandinas, pero se inicio en la margen continental a partir del inicio de la subducción desde el Jurásico inferior (Dalmayrac et al 1988, Gil 2001).

Esta tectónica andina se establece en respuesta a los cambios de la velocidad y la dirección de las placas subductadas bajo la placa América del Sur. Autores como Charrier (1973) y Pardo Casas y Molnar (1987) demuestran que los periodos de máxima velocidad de convergencia entre la placa oceánica (Farallón o Nazca)- de acuerdo al tiempo que se analice- y la placa de América del Sur, coinciden con los grandes eventos compresivos. Estos eventos están separados por breves episodios de relativa quietud tectónica (Noblet et al., 1996). De una manera o de otra, esta tectónica en compresión se desarrolla en forma continua desde el Albiano Cenomaniano hasta el cuaternario (Gil, 2001; W. Hermoza, 2004), permitiendo que se desarrollen estructuras prospectivas que en la actualidad siguen siendo estudiadas.

2.3 La Cuenca De Ante-Pais Amazónica

Dentro de las cuencas estudiadas, en nuestro territorio, las cuencas de antepaís son las que han marcado un gran capítulo en la exploración por hidrocarburo. Este tipo de cuencas donde se concentra el mayor potencial energético es relativamente complejo. Es decir, su estudio presupone diversos conocimientos. El entendimiento de este tipo de sistemas permitirá la correcta interpretación de los procesos actuantes.

“El termino de antepaís es utilizado para describir las cuencas perisuturales subsidentes que se desarrollan sobre una litosfera continental” (Dickinson, 1974 en Gil, 2001). Esta se desarrolla entre el frente de una cadena y un cratón estable, donde es sometida a una flexión de la litosfera.

Cristallini (1998) define a una cuenca de antepaís como una acumulación de sedimentos provenientes de un orógeno y depositados sobre una región adyacente relativamente poco deformada por la tectónica (antepaís). Estas cuencas sedimentarias se forman en escalas de tiempo de entre millones y cientos de millones de años debido al peso del orógeno sobre la litosfera. La región del antepaís se hunde isostáticamente y genera el espacio necesario para atrapar los sedimentos aportados principalmente por ríos desde el orógeno.

Una de las características de estas cuencas es que se forman paralelamente a las fronteras de las placas convergentes. Ellas pueden desarrollarse sobre una litosfera continental en subducción y/o sobre una litosfera en “back arc” cabalgada por el frente orogénico antitético a la subducción (*Figura II-1*).

Desde el punto de vista de la deformación, el acortamiento de la cadena se amortigua hacia la cuenca de antepaís bajo la forma de duplex, anticlinales de rampa, pliegues de propagación de falla y/o zonas triangulares. En consecuencia, las cuencas de antepaís se deforman progresivamente y migran delante del frente de deformación. (Gil, 2001)

La geometría y el tipo de relleno de una cuenca de antepaís van a depender de muchos factores como la velocidad e intensidad de cabalgamiento de la faja plegada y corrida (FPC), factores climáticos, nivel del mar, rigidez de la litosfera involucrada, etc.

A nivel regional, la cuenca de antepaís amazónica en el Perú se distribuye de norte a sur, entre los 0° N y 16° S como se observa en la *Figura II-2*, y está íntimamente ligada a la cordillera de los Andes, que está en subducción y que se extiende sobre más de 9000km sobre el borde oeste del continente sudamericano. La Sub-cuenca Pachitea es parte de este gran sistema de cuenca de antepaís, que a su vez se integra a la cuenca Ucayali.

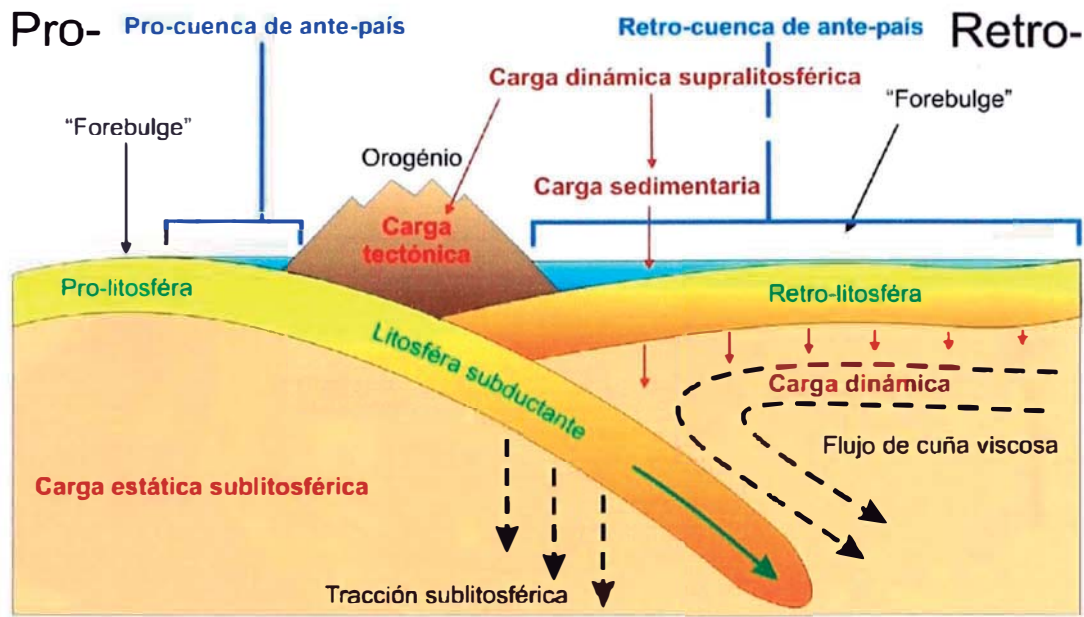


Figura II-1.- Sistema de cuenca de antepaís, ubicación de estas cuencas en una zona de convergencia (según Catuneanu et al., 1977, en Christophoul, 1999)

2.3.1 Segmentación del antepaís (generalidades).

Debido a que estas cuencas son sometidas a cargas y en consecuencia de esta una flexión de la litosfera, tanto supra y sub-litosférica, numerosos autores han estudiado este fenómeno, dentro de los cuales Beaumont (1981), Fleming (1991), Sinclair et al.(1991), etc. plantean necesario simplificar las diferentes entidades geométricas debido a su complejidad. Por lo que se convino llamarlos “sistema de antepaís”. (DeCelles & Giles, 1996; en Gil, 2001).

Dentro de un antepaís, estos autores diferencian cuatro zonas de depósitos: Wedge – top, Foredeep, Forebulge y back bulge (*Figura II-3*). Esta división resulta de la respuesta a la sobrecarga desarrollada en el prisma orogénico. La magnitud de la flexión es proporcional a la masa de esta sobrecarga y a su repartición. A continuación, hablaremos brevemente de estos conceptos, ya que estos se encuentran con mayor detalle en la tesis doctoral de Gil (2001).

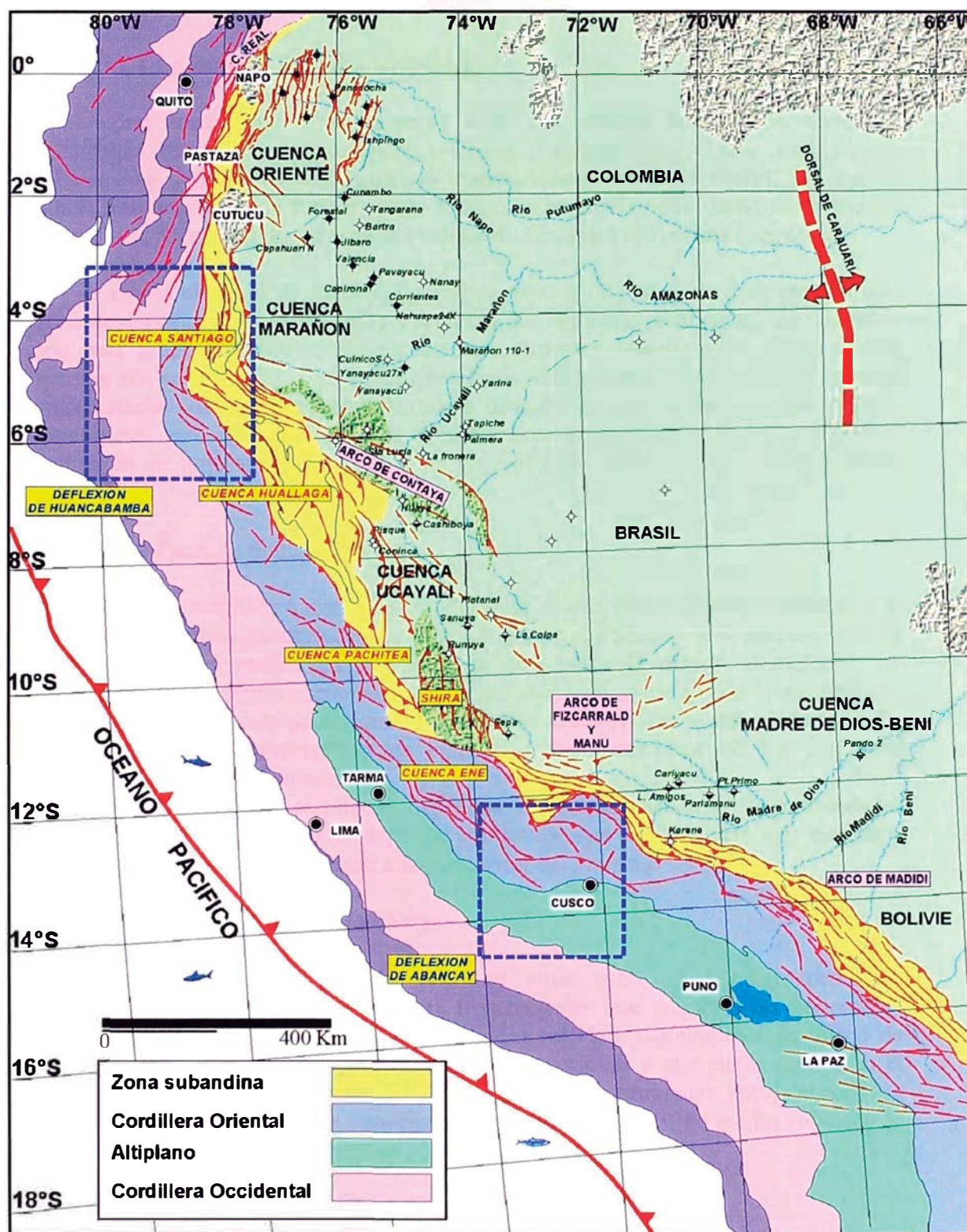


Figura II-2.- Mapa morfo-estructural de los Andes Centrales y ubicación de las cuencas subandinas (Gil 2001)

2.3.1.1 La zona de depósito *wedge-top*.

Esta zona viene a ser la parte activa del sistema de antepaís, donde se desarrollan estructuras y corrimientos ciegos (sistemas CAS, zonas triangulares, *passive roof duplex*), así como cuencas transportadas (*piggyback basin*). Sin lugar a dudas este depósito que fue por largo tiempo considerada como parte de la cadena montañosa, ahora permite registrar la evolución cinemática del prisma orogénico.

Desde el punto de vista sedimentario existen dos tipos de ambiente en esta zona de depósito: los continentales y marinos. En ambiente continental, los depósitos son más gruesos (conos aluviales, sistemas fluviales entrelazados). En ambiente marino, son caracterizados por sedimentos finos carbonatados (sedimentación normal) entrecortados de depósitos gravitatorios o turbidíticos (sedimentación catastrófica). Finalmente, este tipo de depósitos presenta abundantes discordancias progresivas dentro de su arquitectura la cual pone en evidencia su proximidad con el frente orogénico.

2.3.1.2 Zona de depósito *foredeep*.

Esta corresponde a una cuenca subsidente situada entre el frente orogénico y el *forebulge* o bombeo periférico (*forebulge*) y forma un prisma sedimentario que se adelgaza hacia el cratón. Es esta zona la que recibe la mayor acumulación de sedimentos provenientes esencialmente de la erosión de la cadena en estructuración. Además, es aquí donde se desarrollan los ambientes fluviales y aluviales en medio subaéreo y que se superponen de complejos fluvio-deltáicos de los conjuntos turbidíticos en ambiente marino.

Finalmente, en este tipo de depósitos se pueden encontrar discontinuidades progresivas cerca de la zona de depósito *wedge-top*, que van haciendo más escasas y desaparecen cuando se aproximan a la parte axial del *foredeep*.

2.3.1.3 Zona de depósito *forebulge*

Esquemáticamente (*Figura II-4*) se sitúa sobre el bombeo periférico (*forebulge*) en levantamiento flexural (reactivación que ocasiona la sobrecarga produce una flexura) a lo largo del cratón. En realidad, comúnmente es difícil de identificar esta zona positiva que es sometida a erosiones y que puede migrar en el tiempo. Cuando los sedimentos del *foredeep* llegan a progradar hasta la zona de *forebulge*, ellos forman series condensadas fluviales o eólicas, en medio subaéreo, y de plataformas carbonatadas locales en medios marinos.

2.3.1.4 Zona de depósito *Back-bulge*

Esta se desarrolla entre el *forebulge* y el cratón estable; y está caracterizada esencialmente por depósitos finos, sea en dominio continental o marino poco profundo (plataforma carbonatada). Aportes sedimentarios más gruesos pueden provenir del flanco del *forebulge* cuando éste es sometido a erosión.

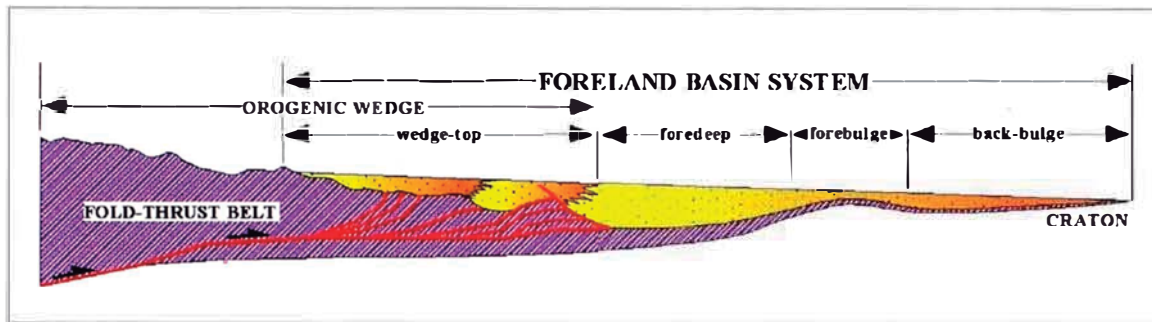


Figura II-3.- Sección esquemática que muestra la organización morfo-Estructural de las zonas de depósito del sistema de antepaís (según DeCelles & Giles, 1996; modificado por Gil, 2001)

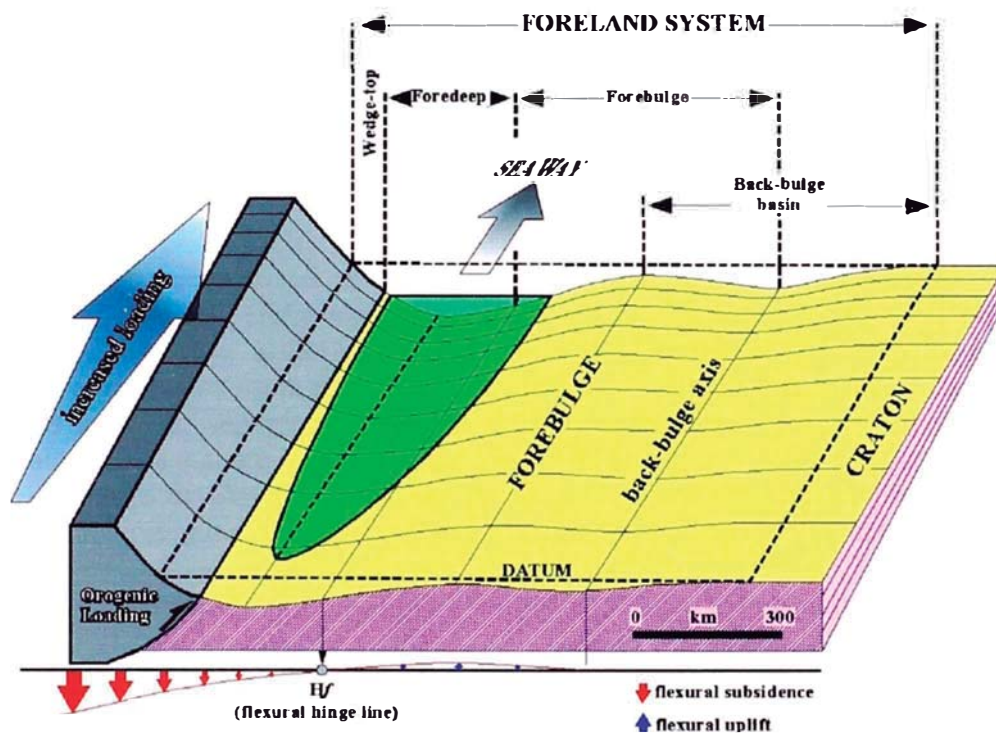


Figura II-4.- Configuración del sistema de antepaís durante un periodo de sobrecarga litosférica en función de la intensidad de la sobrecarga lateral (según Catuneanu et al. 2000, en Gil, 2001)

“Esta manera de comprender las cuencas de antepaís constituye el real proceso, ya que los problemas dados por estas cuencas son abordados de manera dinámica, teniendo en cuenta una migración de todos los elementos del sistema en el tiempo y en el espacio, en relación común: la cadena de montañas.” (Brusset, 1999; en Gil, 2001)

2.3.2 El papel del Cenozoico en las cuencas de Antepaís Amazónicas

El Cenozoico evidencia un periodo de mayor registro en la deformación subandina, trabajos de W. Hermoza, Tesis doctoral (2004) permite conocer estos mecanismos, que fueron anteriormente poco estudiados y que representan en la actualidad los causantes de las estructuras que encontramos en las cuencas Subandinas

El Autor se basa en modelamientos geoquímicos, registros de pozos, información sísmica, datos de campo y el balanceo de secciones estructurales de las cuencas Sub Andinas; proponiendo un calendario de actividades tectónicas que caracterizan a este periodo, donde:

A partir del Eoceno Inferior, se presenta un periodo importante en la estructuración del sistema de cuencas de antepaís, desarrollándose en la cordillera occidental una importante surrección y erosión que se enfocan entre los 3° a 11° S, con una relativa calma al Sur. Resultando así, una fuerte variación de Norte a Sur en la configuración de los andes centrales durante este periodo.

En el Eoceno Superior-Mioceno Inferior, se caracteriza por un periodo de *orogenic loading* en toda la cordillera de los Andes Centrales, donde la cuenca de antepaís está controlada por la propagación del prima orogénico, diferenciándose entre los 3° y 8° de latitud sur cuatro zonas de depósitos: El *wedgetop*, *foredeep*, *forebulge* y *backbulge*. Con altas tasas de sedimentación que rellenaron estos depósitos.

Finalmente, en el Mioceno medio a la actualidad, se caracteriza por una aceleración del prisma orogénico y la carga tectónica (*orogenic loading*) en los Andes Centrales. Esta aceleración se traduce por la propagación de los sistema de cabalgamientos hacia el Este con una incursión marina generalizada en toda la cuenca de antepaís, seguido del relleno de la cuenca (paso progresivo de una cuenca alimentada a sobre alimentada). A este nivel la estructuración es compleja existiendo diferentes niveles de despegues en todo el frente deformado, propiciando así las estructuras que actualmente encontramos en las cuencas subandinas.

2.4 Las cuencas subandinas: límites y grandes rasgos actuales

La sub- cuenca Pachitea como tema de estudio, forma parte del conjunto de cuencas subandinas del Antepaís Amazónico. Estas cuencas son reagrupadas en función de sus características estructurales y/o sedimentarias (*Figura II-2*), las cuales propiamente se desarrollan desde la zona de wedge-top hacia la parte este del antepaís.

Los límites de estas cuencas subandinas son generalmente elementos estructurales como: fallas, altos estructurales, lineamientos, etc. De los cuales no todos estos límites son evidentes; la mayoría de ellos están rellenos por una cubierta sedimentaria que solo es posible distinguir gracias a la sísmica que se pueda obtener de dicha zona y a datos de campo.

La disposición de estas cuencas y su desarrollo es perpendicular a la dirección del transporte tectónico, corresponde a un sistema de fajas plegadas y corridas a vergencia este que forma parte del antepaís. Las cuencas subandinas se extiende sobre el borde oriental de los Andes y corresponden a las cuencas Oriente, Marañon, Santiago, Pachitea, Ucayali, Ene y Madre de Dios-Beni.

La evolución de estas cuencas es compleja. Según los trabajos de Gil 2001, estas corresponden a diferentes tipos de estilos tectónicos, distribuyéndose de norte a sur.

En este sentido, al norte, las cuencas Oriente, Marañon y Santiago se encuentran deformadas por una tectónica de basamento caracterizado por la presencia de inversiones tectónicas de grabenes pre-cretácicos.

Al Sur, las cuencas Huallaga, Pachitea, Ucayali y Madre de Dios son deformadas por una tectónica de cobertura e importantes sistemas de corrimientos, donde los efectos de la tectónica de inversión se manifiestan. En efecto, en la cuenca Ucayali, y Madre de Dios, la zona subandina se estructura por sistemas de corrimientos clásicos, desarrollados en las series sedimentarias de la plataforma paleozoica, bien preservada donde se sitúan los niveles de despegue, estos presentan importantes acortamientos horizontales (Gil, 2001). La presente tesis confirma también que la Sub-cuenca Pachitea presenta estas estructuras desarrollado en corrimientos precretácicos y añade una nueva interpretación del estilo estructural de la misma.

2.5 La sub-cuenca Pachitea (generalidades)

La Sub-Cuenca Pachitea forma parte de la Cuenca Ucayali que en conjunto integra el sistema de cuencas de antepaíses amazónico.

Esta sub. cuenca presenta dominios estructurales complejos como resultado del emplazamiento del Alto del Shira que divide la Cuenca Ucayali en dos subcuencas: al oeste, la cuenca Pachitea y al este, la cuenca Ucayali s.s. (*Figura II-5*).

La cuenca Ucayali s.s al NE es aislada de la cuenca Marañon por el Arco de Contaya, mientras que hacia la terminación meridional su límite corresponde al Arco de Fitzcarrald

En este contexto, la Sub Cuenca Pachitea como parte de una cuenca mayor, presenta límites establecidos, donde hacia el oeste limita con la cordillera oriental y hacia el este con el Alto del Shira. Hacia el norte la cuenca se confunde con las cuencas Ucayali s.s. y de Huallaga. Mientras que su prolongación SE viene a corresponder a la Cuenca Ene (*Figura II-5*).

Desde el punto de vista de la estratigrafía la Sub-Cuenca Pachitea cuenta con series sedimentarias que van desde el paleozoico hasta en cuaternario, presentado afloramientos en Puente Pacutartabo, en la Cordillera de San Matías, en Iscozacín, y en la parte occidental del Shira (Nevati). Asimismo también presenta información de registros eléctricos en los 05 únicos pozos que se encuentran en la cuenca (*Figura II-5*).

El nivel de conocimiento de esta cuenca es todavía incompleto, presentando retos en la interpretación de las secuencias sedimentarias, como en la sísmica y en el modelo tectónico regional. Pero es sin dudas es una cuenca muy atractiva para la exploración por contar con campos de producción de gas, petróleo y condensados en la parte norte de la cuenca Ucayali.

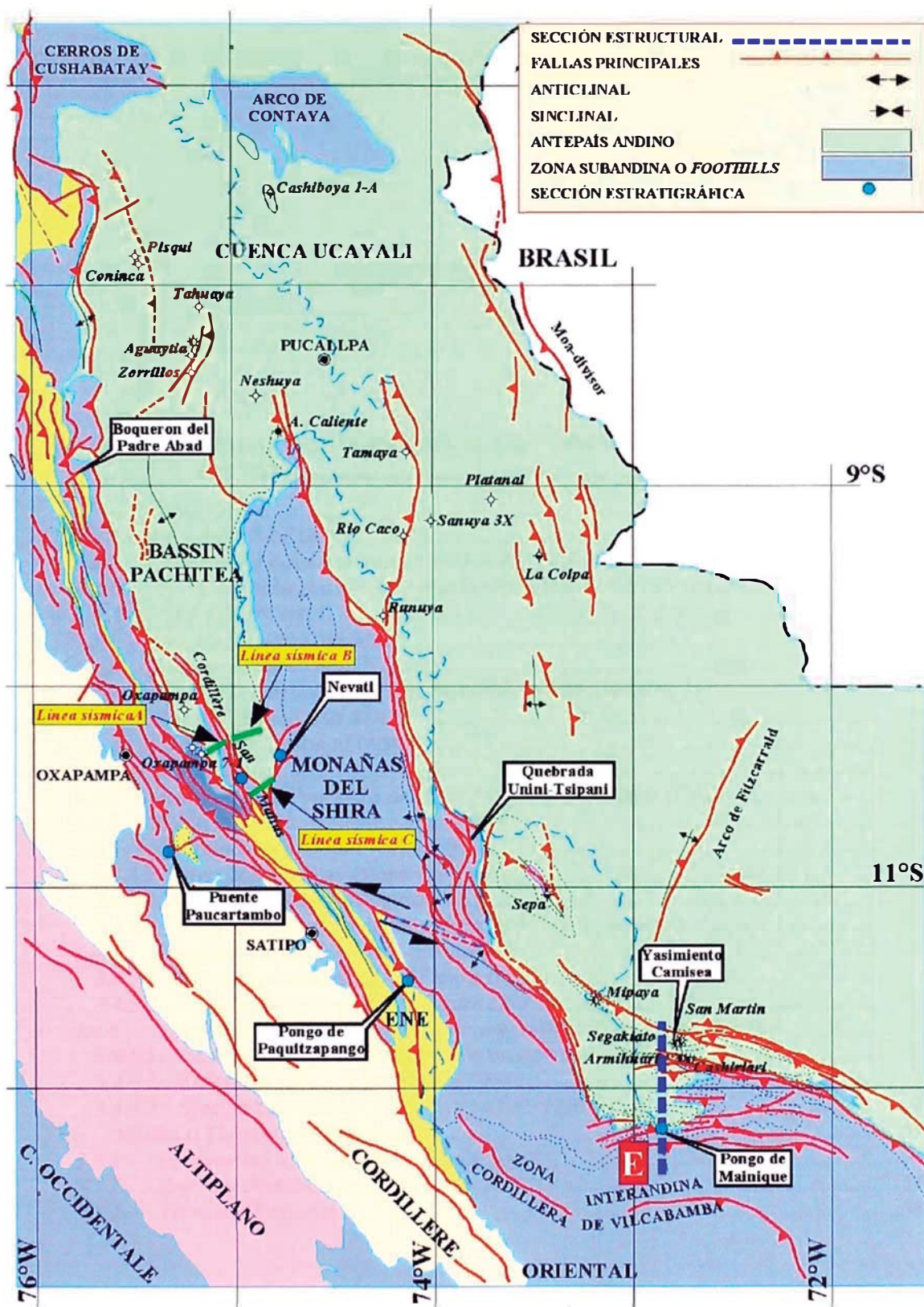


Figura II-5.- Mapa estructural de las Cuenca Pachitea, Ucayali y Ene (tomado de Gil 2001)

CÁPITULO III

| | |
|--|-----------|
| CÁPITULO III GEOMETRÍA Y ESTILO DE DEFORMACIÓN DE LA SUB CUENCA PACHITEA..... | 22 |
| 3.1 INTRODUCCIÓN | 22 |
| 3.2 DATOS Y ESTILO DE DEFORMACIÓN | 22 |
| 3.2.1 Datos estructurales de campo IRD 1995, 2006..... | 22 |
| 3.2.2 Datos estructurales de campañas de ELF, OXY y PANENERGY | 23 |
| 3.3 INTERPRETACIÓN SÍSMICA | 23 |
| 3.3.1 Sección sísmica G96 ENE01 | 26 |
| 3.3.2 Sección sísmica G96 ENE012..... | 27 |
| 3.3.3 Ensamblaje de secciones sísmicas G96 ENE01- G96 ENE12..... | 27 |
| 3.3.4 Sección sísmica G96 ENE02 | 28 |
| 3.4 SECCIÓN BALANCEADA REGIONAL. | 33 |
| 3.4.1 Introducción..... | 33 |
| 3.4.2 Aplicación de Conceptos de Fajas Plegadas y Corridas (FPC) | 33 |
| 3.4.3 Estructuras desarrolladas en una FPC..... | 33 |
| 3.4.4 Concepto de Inversión Tectónica | 37 |
| 3.4.4.1 Inversión de fallas extensivas preexistentes..... | 38 |
| 3.4.4.2 Modelizaciones Analógicas | 38 |
| 3.4.4.3 Pliegue por Flexión de falla plana de 45° de buzamiento | 40 |
| 3.4.5 Construcción de Secciones Estructurales..... | 40 |
| 3.4.5.1 Sección estructural A-A' (Figura III-25)..... | 46 |
| 3.4.5.2 Sección estructural B-B' (Figura III-17)..... | 46 |
| 3.4.6 Construcción de la sección balanceada G96 ENE 01 - G96 ENE 012 | 49 |
| 3.4.6.1 Generalidades sobre la técnica de sección balanceada..... | 49 |
| 3.4.6.2 Reconstrucción por longitud de línea..... | 50 |
| 3.4.6.3 Sección balanceada G96 ENE 01 - G96 ENE 012 (C-C') | 52 |
| 3.5 MODELO TECTÓNICO REGIONAL | 54 |
| 3.5.1 Información de gravimetría (Figura III-21) | 54 |
| 3.5.2 Reportes de sismos locales (Figura III-23) | 54 |
| 3.5.3 Tectónica Regional | 58 |

CÁPITULO III GEOMETRÍA Y ESTILO DE DEFORMACIÓN DE LA SUB CUENCA PACHITEA.

3.1 Introducción

Para la geometría y estilo de deformación mostraremos 02 cortes estructurales y 03 secciones sísmicas a lo largo de la Cordillera de San Matías, Sub-Cuenca Pachitea. Realizaremos una sección balanceada, la cual ilustrará la configuración de la cuenca y permita identificar las estructuras desarrolladas en la misma obteniendo de este el acortamiento regional. Finalmente mostraremos un marco tectónico regional en base a secciones sísmicas de norte a sur de la cuenca Ucayali Norte hasta nuestra cuenca de estudio

Se llegó a dos interpretaciones de la parte inferior del sistema de corrimientos de San Matías: la primera con sistemas de duplex y la segunda con inversión tectónica. Esta última se trabajó en la sección restaurada calculando el porcentaje de acortamiento respectivo. El desarrollo de estos puntos se verá a continuación haciendo referencias generales a los conceptos de fajas plegadas y corridas y a modelos analógicos.

3.2 Datos y estilo de deformación

Estos datos se clasifican en dos tipos: los primeros basados en datos de nuestra campaña de campo que en adelante llamaremos (IRD 2006) y la compilación de los datos de IRD (1995- libretas de campo P. Baby); el segundo tipo se basa en la recuperación de datos geológicos de las compañías OXY, PANENERGY y ELF dentro del banco de datos de PERUPETRO.

Estos datos permitieron definir junto con la sísmica el estilo de deformación de nuestra cuenca de estudio.

3.2.1 Datos estructurales de campo IRD 1995, 2006

La campaña de campo realizada por el IRD en los años 1995 (P. Baby; W. Gil) y 2006 (actual tesis) en los afloramientos de la Cuenca Pachitea son compilados y desarrollados dentro del convenio PERUPETRO-PETROLIFERA-IRD. Estas campañas de campo se desarrollaron en las localidades de Villa Rica - Puerto Bermúdez tomando como blancos de exploración las carreteras, las trochas y caminos no afirmados que atraviesan los afloramientos (*Figura III-1*). La codificación para las campañas de campo IRD 1995 corresponde a IRD# y para la campaña de campo IRD 2006, PAC#.

Como resultado de estas campañas se obtuvieron 65 datos de IRD 1995 de los cuales 49 tienen datos estructurales; de la misma forma, en la campaña IRD 2006 se obtuvieron 83 datos de los cuales 56 cuentan con datos estructurales. Por lo tanto, del total de las campañas de campo IRD 1995, 2006, se obtuvo una cantidad de 105 datos estructurales que permitieron tener un control de la geología y desarrollar un modelo estructural más acorde (*Figura III-1*).

3.2.2 Datos estructurales de campañas de ELF, OXY y PANENERGY

Los datos estructurales de las campañas ELF, OXY y PANENERGY son productos de investigación bibliográfica en el banco de datos de PERUPETRO (Inf. Final de PANENERGY lote 40, 1999; ELF, final report block 66, 1999; OXY, Reporte final lote 21, 2003). Estas diversas campañas tienen como blanco de exploración la mayoría de ríos y quebradas que circundan las montañas de San Matías (*Figura III-1*); teniendo acceso a estas -que son de dominio público- después de su etapa de exploración ó un tiempo prudente después de efectuar los trabajos (derecho de confidencialidad).

La metodología de adquisición fue realizada mediante recuperación de información en medios digitales y físicos. Los medios digitales se basan en los informes técnicos y mapas vectoriales que las empresas otorgan al banco de datos de PERUPETRO. No obstante, se detecto problemas con los diferentes formatos de presentación de la información. Para nuestro cometido los mapas digitales y vectoriales son una gran ventaja debido a que son relativamente fáciles de anexarlo a una base de datos SIG, pero como no siempre se cuenta con tal información salvo algunas excepciones (PANENERGY). Se hizo necesario pasar a vector o imagen (raster) toda la información, debido a que son los datos que acepta un SIG. Los medios físicos son un paso anterior en el proceso, siendo siempre el objetivo convertir a digital, que permita su utilidad. Esta información se clasifico en: mapas, informes técnicos y secciones sísmicas.

Como resultado de esta recuperación, se cuenta con 142 datos estructurales de la compañía OXY, parte sur de los corrimientos de San Matías. De la misma forma aproximadamente 10 imágenes regionales y locales “raster” georeferenciadas de buena calidad para los datos estructurales de la parte norte y noroeste, perteneciente a la compañía PANENERGY; y finalmente imágenes escaladas obtenidas de los trabajos de afloramientos en las líneas sísmicas por parte de ELF. Así mismo, mapas de dataciones bioestratigráficos y campañas de campo, los cuales también contienen datos estructurales. En conclusión, se cuenta con una buena base de datos que ha permitido realizar las correlaciones respectivas y elaborar un mapa de afloramientos medianamente detallado. Por otro lado, se trabajo con algunos cuadrángulos del INGEMMET, teniendo estos varias divergencias en el traslape.

3.3 Interpretación sísmica

Se interpreto 03 secciones sísmicas pertenecientes a las campañas de ELF 1996, (*Figura III-1, Figura III-2*). Estas secciones sísmicas son: G96 ENE01, G96 ENE 02, G96 ENE 12 y el ensamble G96 ENE 01 - G96 ENE 12. Todas estas calibradas mediante el pozo Oxapampa 7-1, datos de superficie y parámetros geofísicos de las líneas sísmicas (CDP); brindando valiosa información sobre la geometría y la distribución de las unidades sedimentarias de la Sub-Cuenca Pachitea.

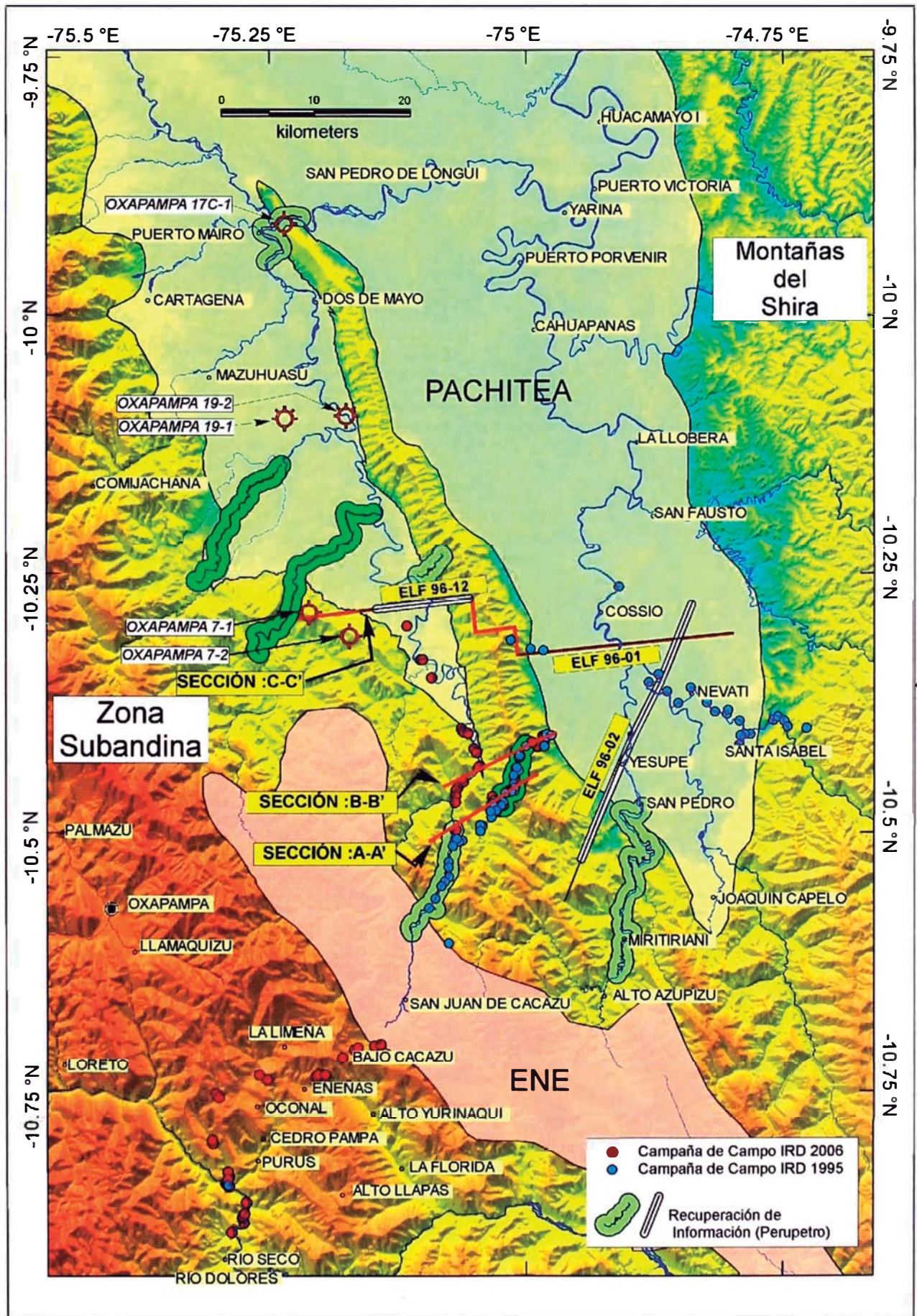


Figura III-1. Mapa geomorfológico, con la ubicación de la Cuenca Pachitea, secciones estructurales, secciones sísmicas y datos de campo.

La calibración de las secciones sísmicas en formato SEG Y se desarrollo con la información sísmica de ELF, el “datum” del procesamiento y las correcciones del origen de tiempos de disparo (la sísmica en digital, formato SEG Y, asume el inicio del conteo en tiempo cero, donde no siempre es considerado tal inicio).

El proceso manual de realizar la calibración de la sísmica se describe a continuación. Primero: con respecto a la orientación de la línea sísmica. Para esto, deberemos contar con la sísmica en digital (formato SEG Y) y en papel, siendo este último el dato real del procesamiento. Se compara en ambos formatos el sentido de la toma de información de los “shots points” (se comporta como vector, dirección y sentido) y se corrige la sísmica en digital con la de papel. Segundo: con respecto al datum. Con el registro sísmico en papel se extrae la información del datum del procesamiento, el cual nos ayudara a fijar la topografía con la línea sísmica. A continuación, se hace coincidir nuestro tiempo que figura en la línea sísmica de papel- que a su vez esta asociado al datum de procesamiento- con la topografía, permitiendo fijala esta última obteniendo así una línea sísmica bien ubicada en el espacio.

La calibración de la línea sísmica con un pozo cercano, Oxapampa 7-1, se realiza mediante el diagrama sintético de velocidades, que se genera a partir de un registro sónico. Si bien dicho pozo no se encuentra adyacente a la línea sísmica, este es un buen control de las series sedimentarias en profundidad y las que afloran en superficie, permitiendo junto con las líneas sísmicas y los datos de campo la interpretación de las mismas.

La calibración de la sísmica con datos estructurales de superficie se realizo basándose en los levantamientos de campo IRD1995, 2006, imágenes satelitales y el DEM del terreno. Los datos estructurales definieron el control geológico de los afloramientos. Las imágenes de satélite permitieron seguir los alineamientos de los afloramientos a nivel regional y el DEM ayudo a definir los cortes topográficos, fijar el datum y calibrar la línea sísmica.

Las diferentes formas de calibrar la sísmica, realizadas en este trabajo, permitieron definir y fijar la geometría de las fallas y de los cuerpos sedimentarios, siendo estas fases necesarias para realizar un corte estructural balanceado.

3.3.1 Sección sísmica G96 ENE01

Esta sección sísmica orientada WSW-ENE, con una longitud de 23,260 Km (*Figura III-1, Figura III-2, Figura III-3*), ilustra la geometría de la cuenca Pachitea y su relleno sedimentario Neógeno. Esta cruza parte de la cuenca y corresponde a un monoclinial de sedimentos terciarios mayormente neógenos e infrayaciendo sedimentos paleozoicos. Esta cuenca descansa sobre el flanco oeste del Alto de Shira y forma el ante-país del sistema de corrimientos de San Matías. Hacia el Este, se puede diferenciar los reflectores de las formaciones Tarma, Copacabana, Cushabatay, Raya, Chonta y Vivian-Cachiyacu. Estas formaciones se encuentran deformadas por el retro-corrimiento más occidental del Alto de Shira. Hacia el Oeste, la sísmica revela la presencia de grabenes con un relleno sedimentario probablemente equivalente al Grupo Pucara y a la Fm. Mitú. Esos grabenes podrían formar el limite oriental del rift Pérmico-Triásico y marcarían una probable inversión de este rift que se extiende al oeste, notándose la presencia de fallas de basamento. Asimismo, reflectores de buena

continuidad lateral (por debajo de Tarma y Copacabana) son interpretados como pertenecientes al Grupo Ambo que reposarían probablemente sobre el grupo Cabanillas (Gil, 2001).

3.3.2 Sección sísmica G96 ENE012

La sección sísmica G96 ENE 012 (*Figura III-4, Figura III-5*) orientada SSW-NNE, se extiende con una longitud de 12.22 Km. Muestra el flanco oeste de la Cordillera de San Matías, la geometría profunda del sinclinal de Iscozacín y sus relaciones con el anticlinal de Oxapampa (*Figura III-1*).

El pozo Oxapampa 07-1 permite calibrar los reflectores de la sección sísmica, y especialmente los reflectores de las formaciones Pucara y Mitú que no afloran en superficie. Además, permite inferir la presencia de la Formación Ene por debajo de Mitú. El anticlinal de Iscozacín (Pozo Oxapampa 07-1) parece resultar del diapirismo de las evaporitas de la Fm. Pucara.

Bajo el sinclinal de Iscozacín, la serie Mitú y las areniscas eólicas de la Formación Ene (probablemente Nia inferior) - identificadas más al este en la Cordillera de San Matías (ver *Figura III-1, Figura III-4, Figura III-5*), y datos de campo PAC043 (*Foto 5 capítulo IV*) y PAC035 (*Foto 2, Foto 4 capítulo IV*) - están duplicada por un importante corrimiento que emerge en la cuenca Pachitea (San Matías Frontal Thrust).

La sísmica muestra también, que por debajo de los corrimientos el conjunto de reflectores parece estar afectado por fallas normales, las cuales vale decir son similares a los que se presentan más al este, en la sección sísmica anterior y serían la evidencia de una probable inversión.

3.3.3 Ensamblaje de secciones sísmicas G96 ENE01- G96 ENE12

La interpretación estructural del ensamblaje de las secciones sísmicas G96 ENE 01 - G96 ENE 012, del pozo Oxapampa y de los datos de campo de la Cordillera de San Matías permite tener una visión global del sistema de corrimientos Oxapampa-Iscozacín-San Matías, y de su relación con la cuenca Pachitea (*Figura III-1*).

Ahora, según este ensamblaje se desprende dos posibles soluciones que permiten interpretar el estilo estructural de la cuenca Pachitea (*Figura III-4, Figura III-5*):

La primera interpretación (*Figura III-4*): El despegue basal del corrimiento frontal de San Matías (SMFT) se encuentra bajo las areniscas eólicas que afloran en la Cordillera de San Matías (PAC035) donde se desarrolla probablemente en lutitas paleozoicas (Lutitas Ene). Este corrimiento, que repite las areniscas eólicas, forma el techo de un sistema de duplex, el primer duplex, responsable de la formación de un *antiformal stack* bajo el sinclinal de Iscozacín, incluye las areniscas eólicas; estas tienen un despegue superior que podría corresponder al tope de la formación Ene, que consta de lutitas y calizas rojas finas (ver cuadros estratigráficos de las *Figura 3 y Figura 13 capítulo IV*). Este tope de lutitas grises y rojas en afloramiento es

observado en el PAC030 sobre las areniscas eólicas de la Cordillera de San Matías. Debajo, la sísmica muestra que se desarrolla también un duplex profundo en el Paleozoico (Ambo-Cabanillas). Bajo el corrimiento frontal de San Matías (*Figura III-4*), la diferencia de altura entre las dos secciones sísmicas implica la presencia de un alto estructural que puede ser interpretado como un anticlinal asociado a un corrimiento profundo en el Devónico, este probable anticlinal incluye también las areniscas eólicas (PAC035) que atribuimos al reservorio Nia inferior de Camisea.

Segunda interpretación (*Figura III-5*): El despegue del bloque bajo del corrimiento de San Matías corresponde a las evaporitas del Grupo Pucara. Por lo tanto, evidencia una probable inversión tectónica durante la tectónica compresiva del Neógeno. El graben invertido es heredado de la apertura del rift Permo -Triasico representado por el Grupo Mitú (*Figura III-5*). Las fallas se extienden probablemente hasta el Carbonífero representado por el grupo Ambo y Tarma, parte oeste de la sísmica. El desarrollo de grabenes en la parte este equivaldría al límite oriental del rift permo-triasico (Mitú). Bajo este corrimiento frontal de San Matías, el alto estructural estaría asociado a la inversión tectónica y explicaría el desnivel entre ambas secciones sísmicas.

En conclusión las diferentes interpretaciones que se exponen proponen: un modelo de duplex debajo de los corrimientos de San Matías o la inversión tectónica de un graben paleozoico. De los cuales según la tectónica regional (Ver más adelante el acápite 3.5) se optara por la segunda propuesta que sería más acorde a lo explicado anteriormente.

3.3.4 Sección sísmica G96 ENE02

La sección sísmica G86ENE02 está orientada SSW-NNE y cuenta con una longitud de 35.28 km. Esta sección sísmica tiene un grado de interpretación menor a las precedentes, debido esencialmente a la falta de información de campo (acceso difícil) y por la baja calidad de los reflectores en la parte oeste. Por otro lado, recientemente se reproceso esta línea sísmica por la compañía PETROLIFERA y adicionalmente se contó con información geológica de la compañía ELF (1999) en los puntos de disparo “shots points” ayudando en la interpretación de la misma.

Esta sección sísmica (*Figura III-6*) evidencia un sistema de corrimientos subandinos comparable, donde se diferencia todavía varios corrimientos profundos. Hacia el Oeste, aparece el despegue en el Paleozoico, descrito como Sarayaquillo por OXY, que nosotros atribuimos Mitú, según los afloramientos de San Matías que también fueron tomados como tal. Descansa debajo de esta una estructura que correspondería a la descrita en San Matías que no ha sido claramente diferenciado y que se presume su presencia por el mapeo geológico realizado (*Figura III-2*). Hacia el Este, bajo el Neógeno de la cuenca de Pachitea, se desarrolla un nuevo frente de corrimiento que corresponde probablemente a la inversión tectónica del borde oriental del sistema de rift permo-triásico, o en su equivalente interpretativo, la presencia de una estructura profunda correspondiente probablemente a un duplex de Devónico.

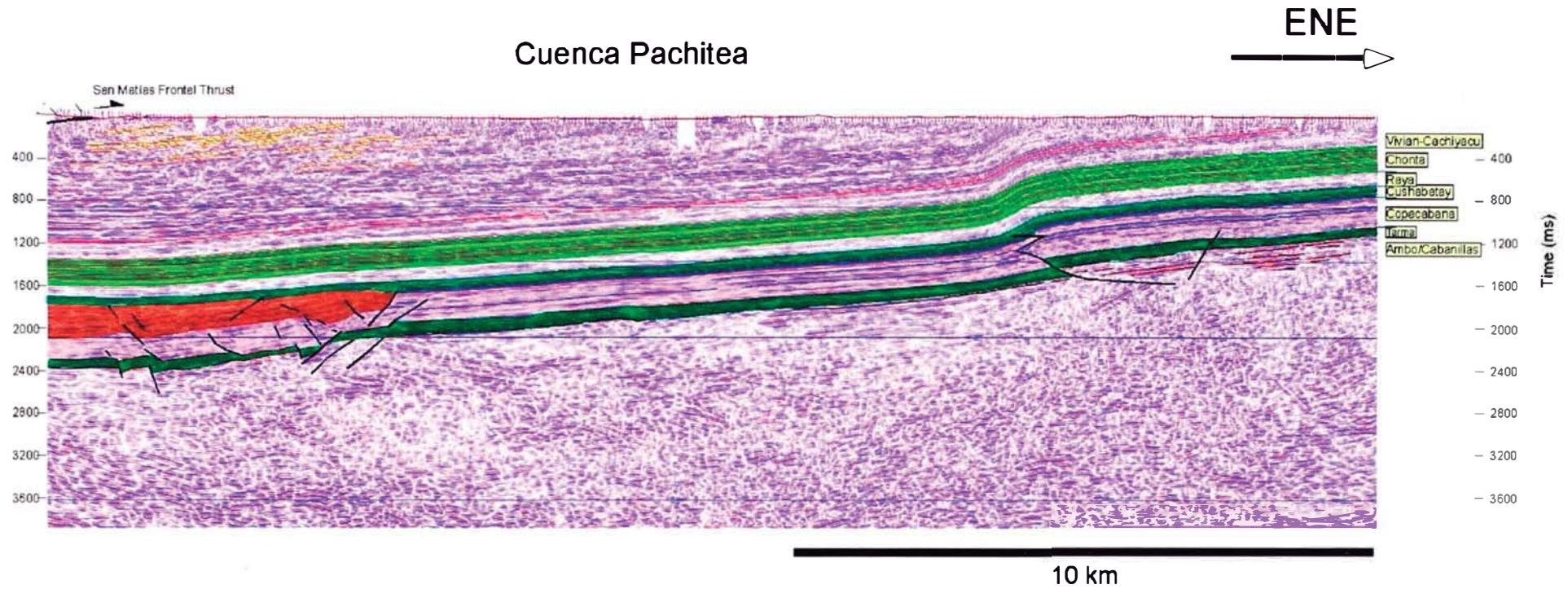


Figura III-3 .- Sección sísmica G96 ENE 01 (ubicación en el mapa de la Figura III-1) mostrando la geometría de la cuenca Pachitea y de su relleno sedimentario neógeno. La cuenca Pachitea descansa sobre el flanco oeste del Alto de Shira, y forma el ante-país del sistema de corrimientos de San Matías. Hacia el Este, se puede diferenciar las formaciones Tarma, Copacabana, Cushabatay, Raya, Chonta y Vivian-Cachiyacu. Se encuentran deformadas por el retro-corrimiento más occidental del Alto de Shira. Hacia el Oeste, la sísmica revela la presencia de grabenes con un relleno sedimentario probablemente equivalente a la Fm. Mitú, que forman el límite oriental del sistema de rift pérmico-triásico.

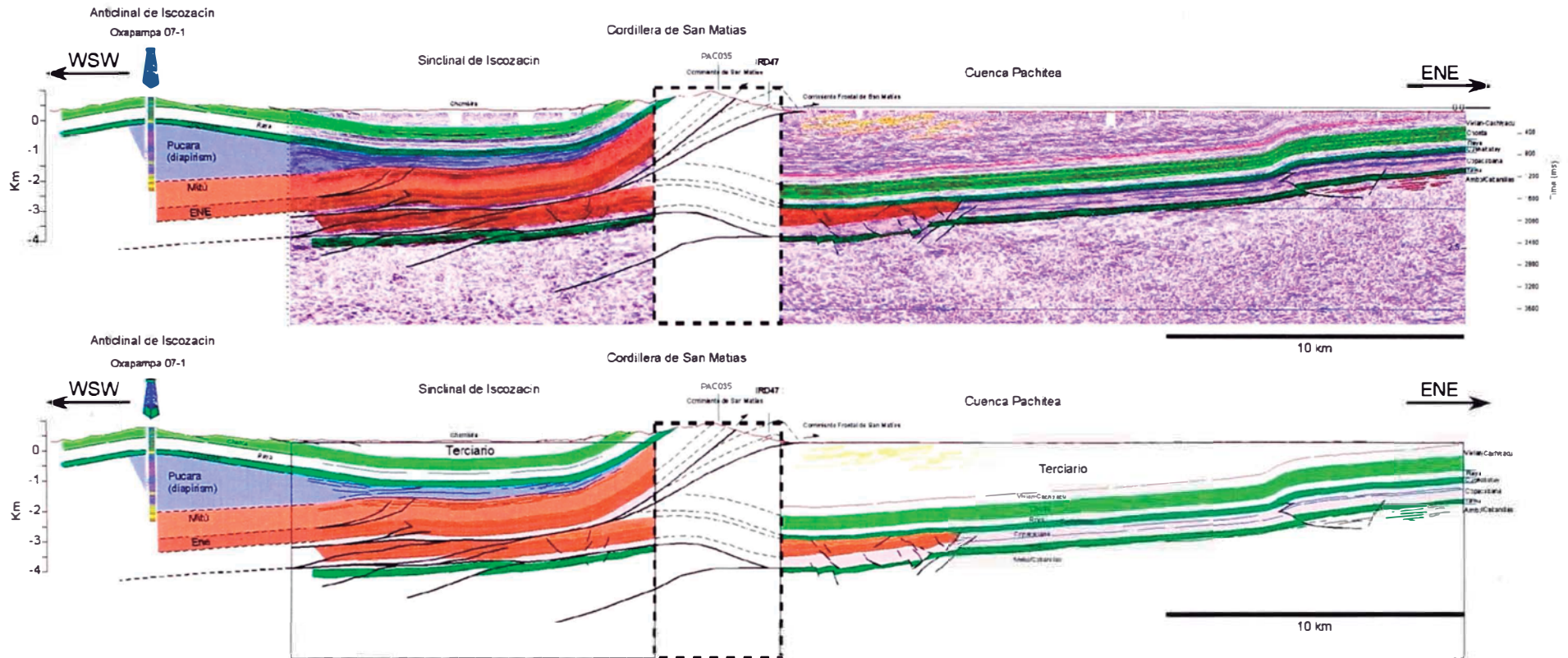


Figura III-4 . Primera Interpretación estructural de las secciones sísmicas G96 ENE 01 y G96 ENE 012 (ubicación en el mapa de la Figura III-1) mostrando la geometría global del sistema de corrimientos Oxapampa-Iscozacín-San Matías, y su relación con la cuenca Pachitea. Notar el recuadro con líneas discontinuas el vacío de información es cubierto por los datos de campo. Por lo cual resultan nuestra primera interpretación; en la parte inferior del corrimiento, un sistema duplex es el causante del desnivel de ambas secciones sísmicas.

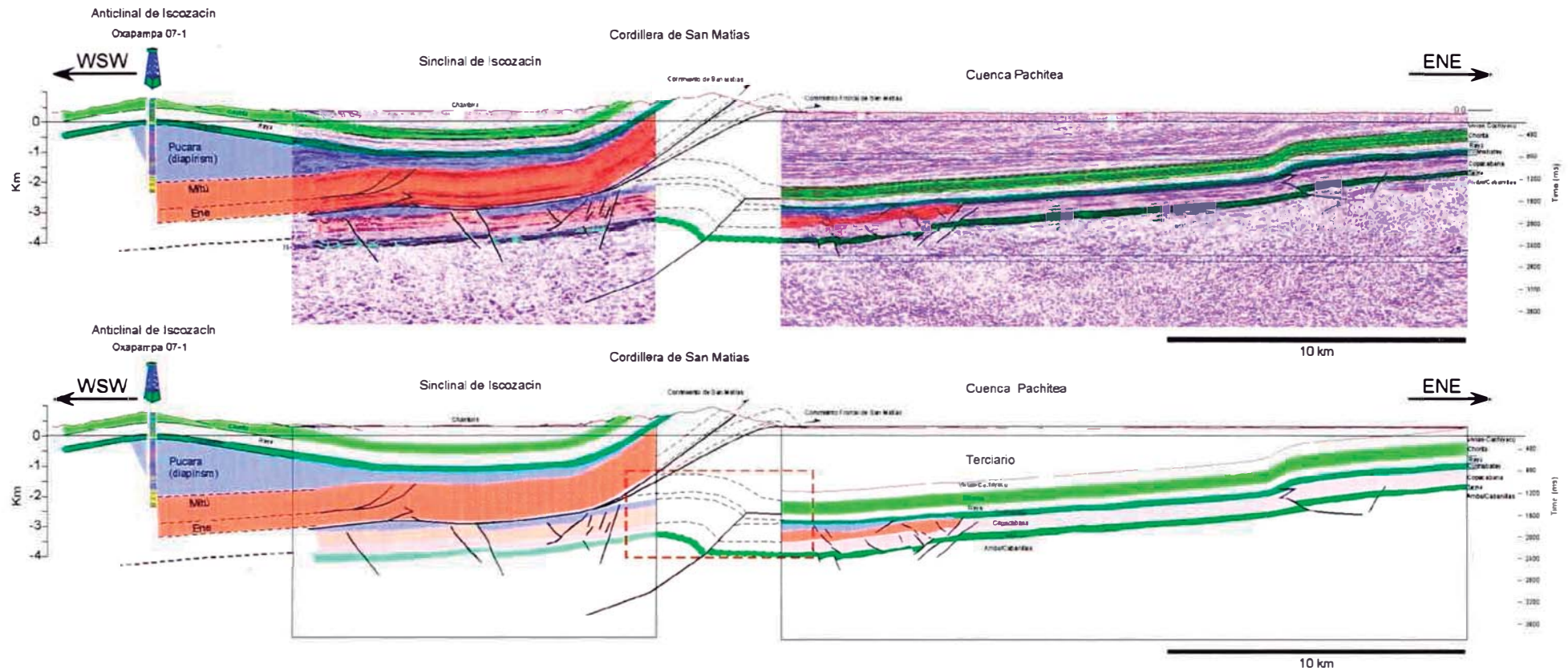


Figura III-5.- Segunda Interpretación estructural de las secciones sísmicas G96 ENE 01 y G96 ENE 012 (ubicación en el mapa de la Figura III-1) mostrando la geometría global del sistema de corrimientos Oxapampa-Iscozacín-San Matías, y su relación con la cuenca Pachitea. El vacío de información, parte inferior del corrimiento, es interpretado como una anticlinal producto de una inversión tectónica neógena del rift permo triasico (Recuadro rojo).

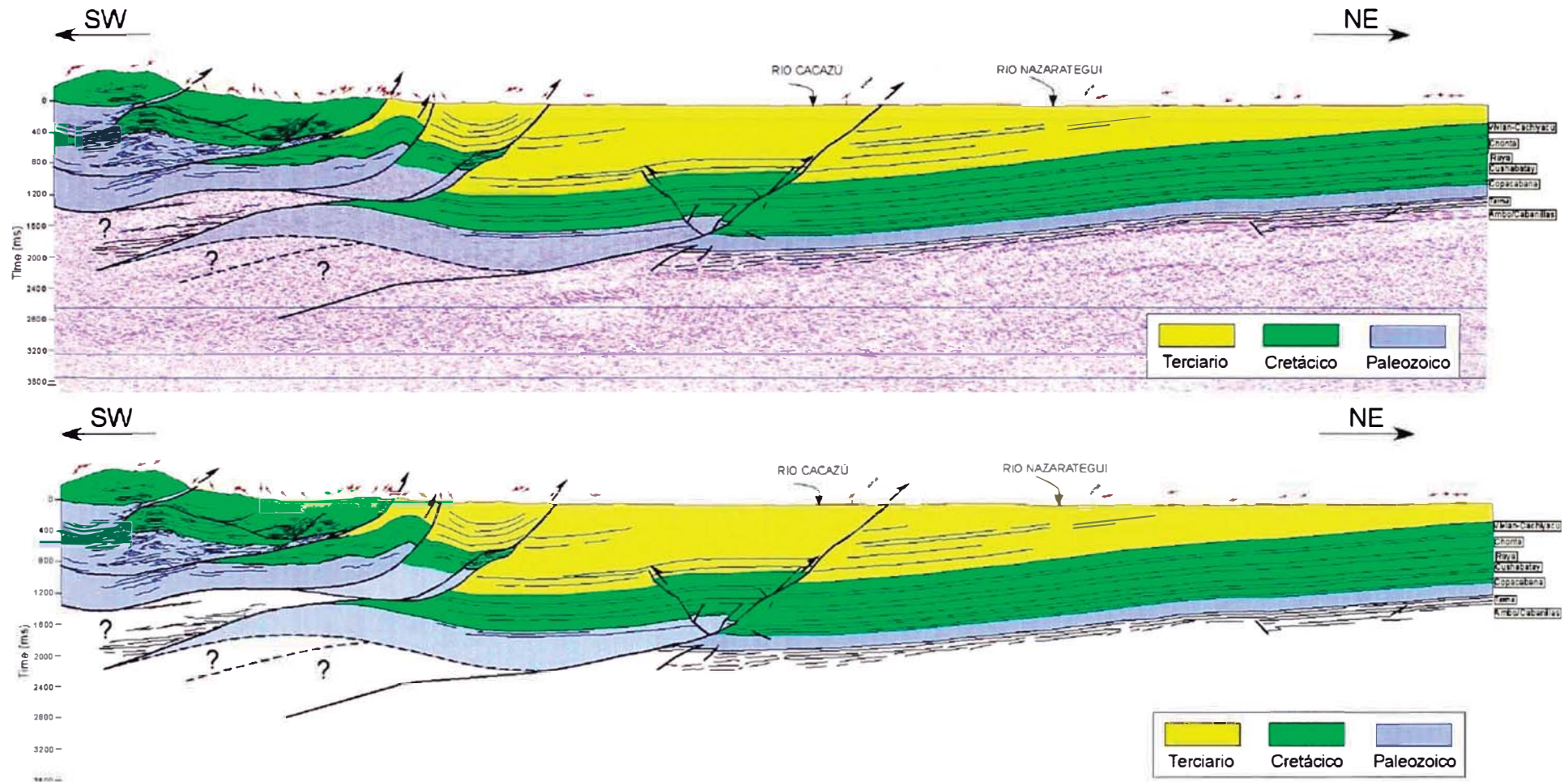


Figura III-6.- Sección sísmica G96 Ene 02, reprocesada por Petrolifera (2007) tiene un nivel de interpretación menor a las precedentes, pero se pueden observar todavía algunos horizontes reflectores que diferencian las secuencias paleozoicas, cretácicas y terciarias. Un rasgo importante de esta son los diversos corrimientos que involucran todo el paquete paleozoico cretácico y terciario, evidenciando una zona de mayor esfuerzo compresivos que las estructuras ubicadas más al norte.

3.4 Sección balanceada regional.

3.4.1 Introducción

La aplicación de conceptos de fajas plegadas y corridas (*Fold and thrust belts*) es la base para realizar la sección balanceada regional que dentro de sus fines son la restauración de las mismas y la validación de la interpretación estructural. Todo ello, acorde a los datos de campo, pozos, secciones sísmicas, etc. (McClay, E. Cristallini 1998).

3.4.2 Aplicación de Conceptos de Fajas Plegadas y Corridas (FPC)

La Sub-Cuenca Pachitea forma parte del sistema de cuencas de antepaís el cual involucra diferentes mecanismos geométricos que han sido desarrollados ampliamente en los conceptos de fajas plegadas y corridas (FPC) ó (*Fold and Thrust belts*). Los cuales veremos a continuación.

El problema de un modelo que represente la deformación de las secuencias sedimentarias, estime y cuantifique su comportamiento frágil, ha sido un problema que era necesario resolver. Fue una de las interrogantes de los primeros geólogos que necesitaban tener mayor certeza al cuantificar los procesos dinámicos. Los modelos de fajas plegadas y corridas (*Fold and thrust belts*) solucionan en parte estas interrogantes. Es decir, estos modelos explican la geometría de la cuenca de antepaís, pero no así, el complejo estratigráfico de la cuenca. En otras palabras la relación entre las discontinuidades, secuencias y la litología (Fleming & Jordán, 1990; en Hermoza et al., 2000). Por tanto, estas técnicas ayudan a conocer la arquitectura tectónica de la cuenca y por ende su dinámica, más no su génesis estratigráfica.

Los modelos de fajas plegadas y corridas son sumamente amplios y conllevan diversos conceptos tanto físicos, matemáticos como geométricos. En consecuencia, solo nos limitaremos a sentar los conceptos básicos para la comprensión del presente estudio.

3.4.3 Estructuras desarrolladas en una FPC

Los corrimientos y pliegues caracterizan la estructura de una faja plegada y corrida, y en general se encuentran íntimamente relacionados entre sí. Los pliegues, sólo se pueden dar desvinculados de las fallas en sectores de alta ductilidad o en secuencias que tengan, aunque sea en parte, rocas poco competentes. De lo contrario, en rocas donde predomina el comportamiento frágil, los pliegues importantes siempre se vinculan al fallamiento. Es así, que en las FPC, en general predominan estructuras mixtas de plegamiento y fallamiento. El estudio de los modelos principales teóricos de pliegues relacionados a fallas es fundamental a la hora de interpretar una estructura natural. La información con que se cuenta en general es parcial, y en base a ella y al buen entendimiento de los modelos, el intérprete obtendrá un resultado ya sea de importancia económica o científica.

Los conceptos de fajas plegadas, en esfuerzos compresivos, están basados en principios geométricos (método de King, *Figura III-9*) y se pueden resumir en las

tres reglas de Dahlstrom -siendo Rich (1934) el que explica por primera vez una estructura de corrimiento en los Apalaches:

1. Los corrimientos cortan estratigráficamente (rampa) hacia arriba la secuencia en sentido del transporte tectónico (*Figura III-8-a*).
2. Los corrimientos se propagan generalmente, paralelos a los estratos incompetentes (sal, lutitas, etc.), y oblicuos a los estratos competentes.
3. Los corrimientos se hacen más jóvenes en el sentido del movimiento (*Figura III-8-a*).

Existen tres tipos de pliegues que se pueden desarrollar en relación con un corrimiento (*Figura III-7*):

- Pliegue debido por flexión de falla o “fault-bend fold” (*Figura III-7 b*).
- Pliegue debido a la propagación de una falla o “fault-propagation fold” (*Figura III-7 a*).
- Pliegue por despegue simple o “detachment” (*Figura III-7 c*).

Una característica general de un cinturón orogénico es que la deformación procede desde el interior hacia el exterior, es decir desde el traspaís hasta el antepaís. La aplicación de las reglas conduce al modelo de fallamiento inverso, y plegamiento, en escalones o geometría de rampas (“ramps”) y plano horizontal (“flats”). Así, según la *Figura III-8*, se tienen los siguientes elementos geométricos:

- X= punto de quiebre del bloque yacente
- Y= punto de quiebre del bloque colgante
- AB= Piso en el bloque colgante/ Piso en el bloque yacente
- BC= Piso en el bloque colgante/ Rampa en el bloque yacente
- CD= Piso en el bloque colgante/ Piso en el bloque yacente
- DE= Rampa en el bloque colgante/ Piso en el bloque yacente
- EF= Piso en el bloque colgante/ Piso en el bloque yacente

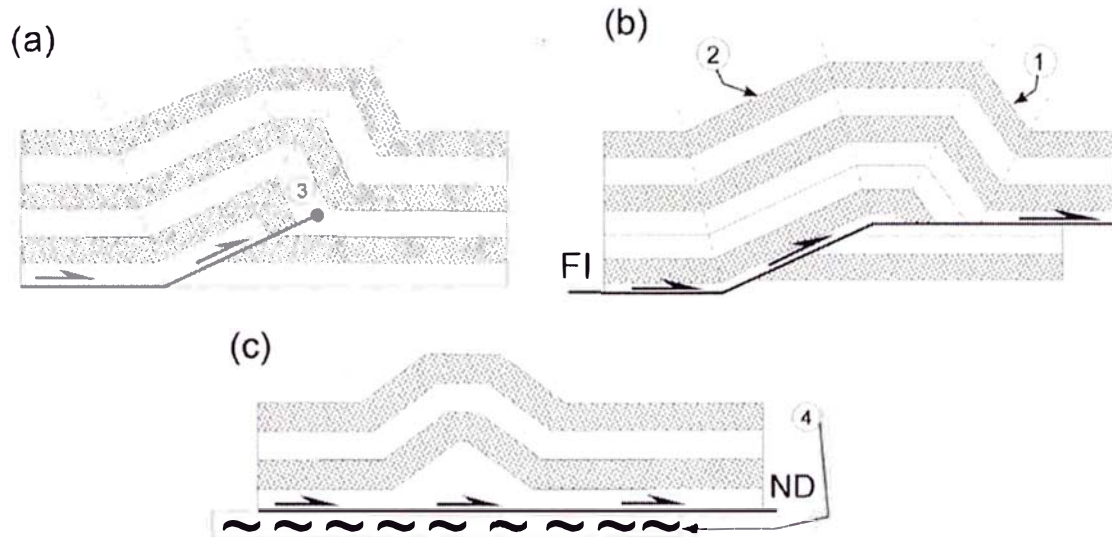


Figura III-7.- Tipos de pliegues desarrollados en un corrimiento: a) pliegue por propagación de falla, b) pliegue por flexión de falla, c) pliegue por despegue simple, 1) limbo delantero, 2) limbo trasero, 3) punto de termino y 4) basamento, FI=Falla Inversa, ND=Nivel de Despegue.

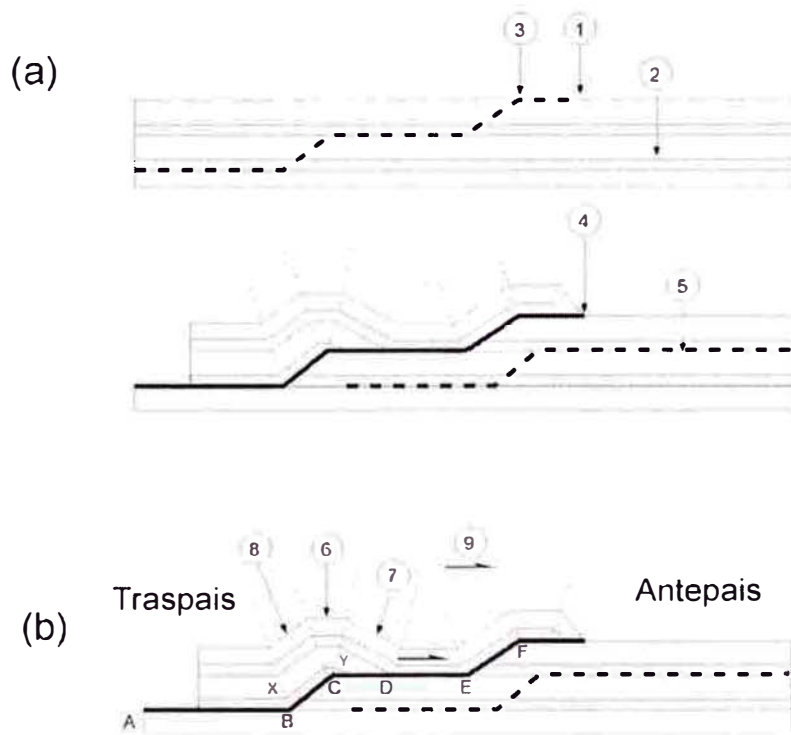


Figura III-8 : Geometría de rampas y plano horizontal. (a) Orden de aparición de los corrimientos. (b) Elementos geométricos. (1) y (3) Nivel incompetente. (2) corrimiento potencial. (4) Primer corrimiento. (5) Segundo corrimiento. (6) Anticlinal en el bloque colgante. (7) Limbo delantero. (8) Limbo trasero. (9) Sentido del transporte del bloque colgante.

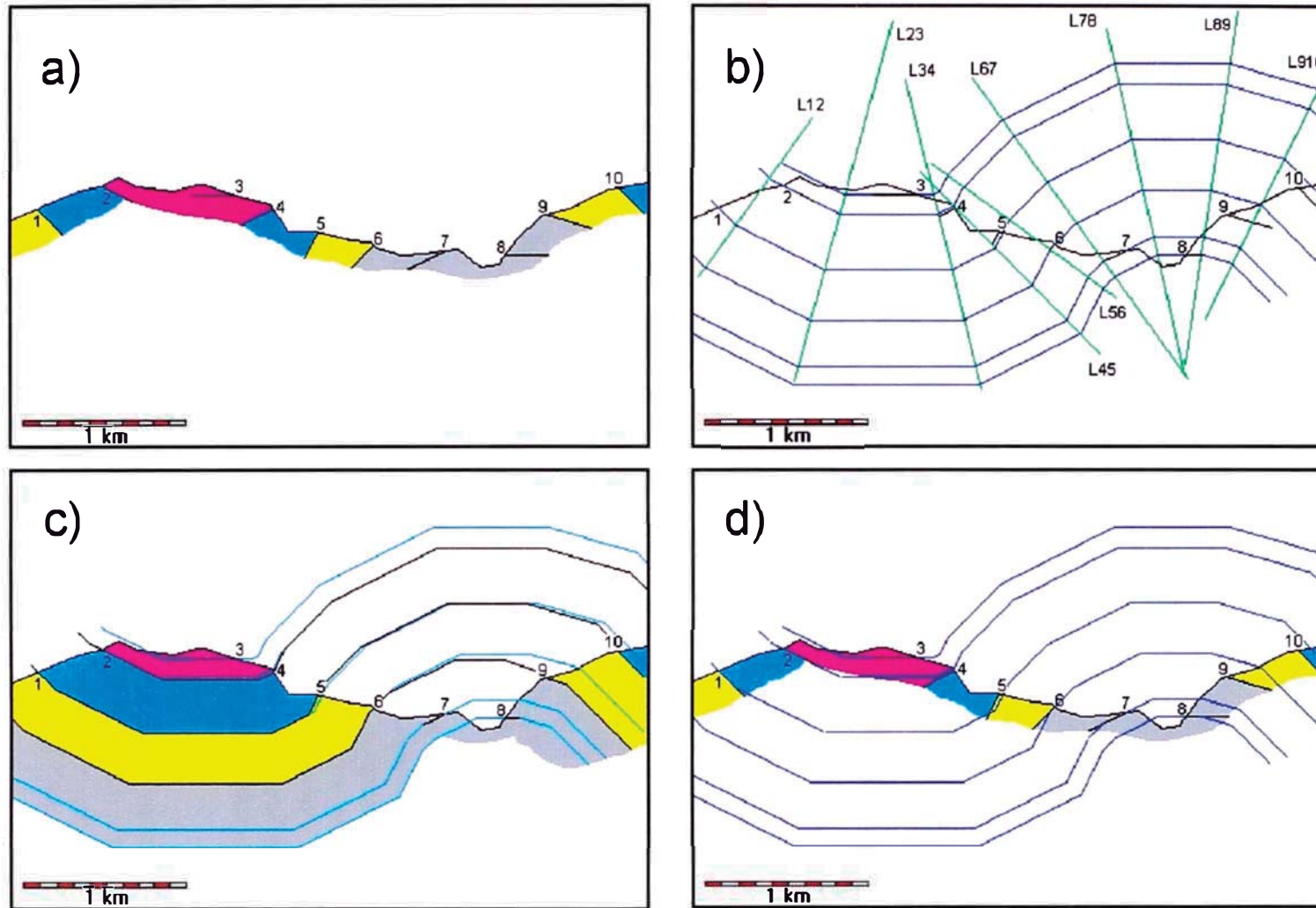


Figura III-9: Ilustraciones que muestran el método de construcción de kink (<http://www.uwgb.edu/dutchs/structge/labman.htm>); 1,2,3,4,5,... 10 representan los datos estructurales en afloramientos; a) datos estructurales dispuestos en el afloramiento; b) trazado de bisectrices que contienen a los datos estructurales (líneas de negro); c) ejemplificación de los afloramientos asociados a sus datos estructurales; d) modificación de las líneas paralelas con el fin de ajustar a los datos reales (tratando de conservar el espesor).

3.4.4 Concepto de Inversión Tectónica

En fajas plegadas y corridas es muy común encontrar inversiones tectónicas. Este término fue utilizado por Gleinnie & Boengner (1981). Sin embargo, la inversión de cuencas fue reconocida hace muchos años por Lamplugh (1920) y Stille (1924). Diferentes definiciones han sido propuestas por Gleinnie & Boengner (1981), Harding (1985), Gillcrist et al (1987) y Mitra (1993).

Se plantean dos tipos de inversiones tectónicas: Inversión positiva (surrección) y negativa (subsistencia). La primera es la más común y es la que abordaremos en el presente capítulo; por lo que en líneas generales: viene a ser la acción de esfuerzos sobre una cuenca o estructura levantada por efectos por una tectónica compresiva, antes afectada por una tectónica distensiva; la segunda es menos frecuente y se debe cuando una estructura o cuenca es afectada por una tectónica extensiva que anteriormente fueron levantadas durante eventos compresivos.

“Una inversión estructural es una conversión del área de una cuenca en un alto estructural o también puede ser de manera inversa. La inversión puede ser positiva (surrección) o negativa (subsistencia), siendo relativo al proceso que lo antecede.” (Gleinnie y Boengner, 1981)

“Inversión estructural positiva: cambio de polaridad en el relieve estructural de una bajo, previo a un alto, se aplica a estructuras específicas”. A pequeña escala, este tipo de deformación se refiere a la inversión de una cuenca (Harding, 1985)

“Una Inversión estructural positiva corresponde a la surrección de formaciones al techo de una falla, bajo el efecto de la reactivación de ésta dentro de un contexto compresivo o trascurrente” (Gillcrist et al 1987, en Gil et al 1995).

“Es la inversión positiva de estructuras, formadas por reactivación compresional de estructuras extensivas preexistentes” (Mitra, 1993; en Gil et al 1995)

Mediante interpretación de la sección compuesta (*Figura III-5*), en el sector desprovisto de de información sísmica, pero con información de campo, se interpreto la presencia una probable inversión tectónica Neógena, que marca el límite este de la extensión del rift Pérmico- Triásico. Es necesario conocer estos conceptos para comprender la geometría de la misma, que es determinante en la restitución palinspática de esta sección. De tal manera que el modelo analógico realizado por Mitra (1993) en un pliegue de propagación por falla de 45° de buzamiento es el que se adecua a este tipo de estructura.

Tomando en cuenta esta sección estructural y sabiendo de antemano que es un tema extenso y que plantea diferentes geometrías para diversos paramentos que se presentan, solo se desarrollara el tipo de inversión tectónica que corresponde a esta estructura antes mencionada. Por tanto, se mencionara solo los tipos de inversiones positivas.

Tipos de Inversión tectónica Positiva

- Inversión de fallas extensivas preexistentes
- Inversión en zonas de fallas de transferencia y fallas transcurrentes
- Surrección debida a flexuramiento
- Surrección por levantamiento isostático de cuencas sedimentarias.

3.4.4.1 Inversión de fallas extensivas preexistentes

Fallas normales, originadas durante el desarrollo de una cuenca sedimentaria extensiva, tienden a ser reactivadas durante eventos tectónicos compresivos los que producen la formación de pliegues asimétricos (*Figura III-10*). Esta es asumida en la interpretación del ensamble de las líneas sísmicas G96 ENE01- G96 ENE12 (*Figura III-4, Figura III-5*)

Según Gillerist et al (1987), los factores que controlan la inversión sobre fallas normales son:

- Dirección y pendiente de la falla
- Tipo de falla (lítrica o bloques basculados)
- Tiempo antecedente, desde la extensión
- Tasa de contracción comparada con la extensión.

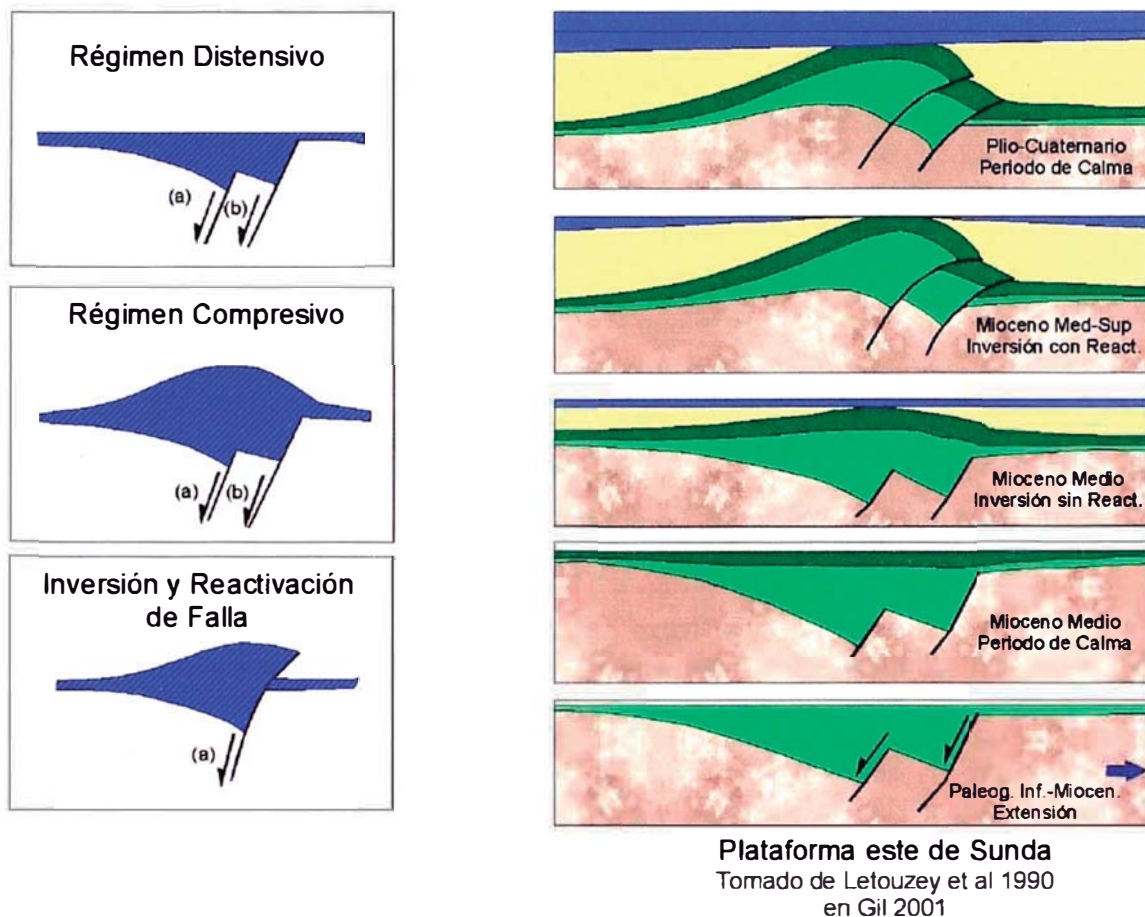
De estos factores, se tienen: si la orientación del plano de falla es perpendicular al esfuerzo principal (T1), entonces se tiene una inversión en régimen compresivo (*Figura III-11 B*). Por otra parte, si el plano de falla es oblicuo al esfuerzo principal (+/- 30°), entonces se tendrá una inversión en régimen transcurrente (*Figura III-11 C*). Dentro de este contexto, se puede tener una inversión en régimen compresivo si la pendiente de la falla varía entre 20° y 35° (*Figura III-11 D*). Inversiones tectónicas en régimen transcurrentes pueden dar diferentes estructuraciones.

Las fallas heredadas de la extensión con pendientes pronunciadas son difíciles de invertir por movimientos compresivos, estas más bien son obstáculos que amortiguan el desplazamiento. Este amortiguamiento y desplazamiento inducen un acomodamiento paralelo a las capas y tienden a ser invertidas por movimientos transcurrentes. Para comprender este mecanismo veremos a continuación las modelizaciones analógica

3.4.4.2 Modelizaciones Analógicas

Para conocer el comportamiento mecánico de los complejos deformados se necesita un laboratorio natural. Es decir, acontecimientos que ocurren en la naturaleza, de tal manera que nos de a conocer ulteriormente dichos procesos, geometrías y respuestas a los esfuerzos. Pero una de las limitaciones del mismo es el parámetro de tiempo donde sus efectos son percibidos en escalas geológicas.

La modelización analógica recoge este tipo de información, vuelve manejable algunos parámetros y nos da resultados finitos de los mismos.



Escenario de Evolución e Inversión de Graben

Figura III-10.- Proceso de evolución de una inversión tectónica de graben. Las imágenes a la izquierda esquematizan el proceso de inversión. Las imágenes a la derecha son tomadas de un caso real estudiado en Sunda.

En los experimentos realizados por McClay (1989), se pone en manifiesto los resultados de una serie de inversión tectónica por geometrías simples de fallas extensivas, que son invertidas por un cambio del sentido de movimiento del aparato experimental de deformación, deformando por compresión horizontal los modelos anteriormente sometidos a extensión. Esto contrasta con los modelos de Koopman et al. (1987) en los que la inversión es lograda por el levantamiento o rotación de bloques rígidos.

La inversión es realizada comúnmente por reactivación y reutilización de sistemas de fallas extensivas preexistentes. Sin embargo, los volúmenes acortados por sistemas transcurrentes también son importantes.

Para la generación de estos modelos experimentales son necesarios diferentes parámetros, los cuales son finitos y por ende no reproducen exactamente lo que suceden en la naturaleza, pero, si representan los parámetros principales en la deformación y por lo tanto validos, entre los más importantes son : los materiales que reproducirán el comportamiento mecánico de los estratos, un sistema cerrado donde se desarrolle estos (donde se conserve la masa) y un mecanismo de esfuerzos que reproduzca los esfuerzos compresionales y extensionales. Para los primeros, los

materiales generalmente utilizados son arenas de diferentes colores, siendo estas intercaladas, los cuales mejor simulan las capas sedimentarias. Para el sistema cerrado, consideramos una caja con las paredes laterales de vidrio; y la parte frontal, y trasera de metal o madera, si el material a considerar es arena se le conoce como caja de arena (Sandbox). Finalmente el mecanismo de esfuerzos es representado por una barra sin fin que es accionada manualmente o por un motor otorgando el esfuerzo necesario para deformar las capas.

3.4.4.3 Pliegue por Flexión de falla plana de 45° de buzamiento

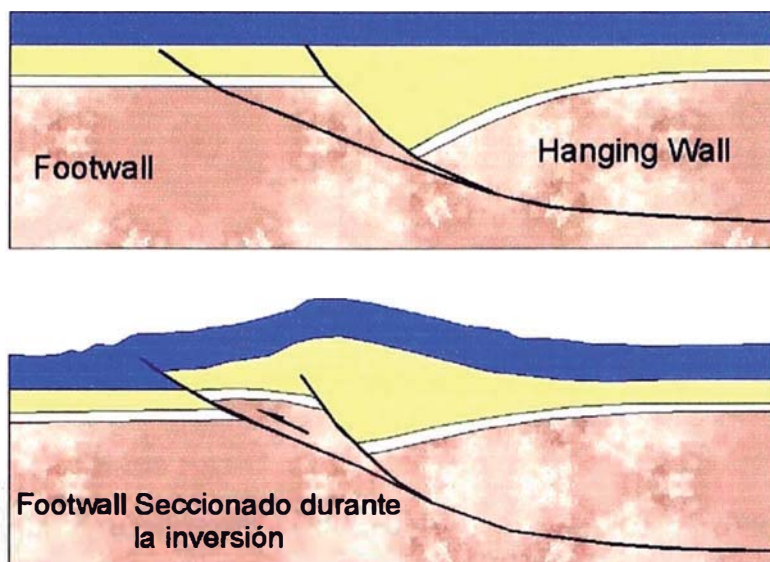
La inversión de fallas normales de alto ángulo ha sido modelizada por Koopma et al. (1987), Letouzey (1990) y Buchanan & McClay (1991). En estos experimentos utilizaron “cajas de arena” (sandbox). Estos modelos son muy similares a estructuras invertidas naturales y proveen un considerable conocimiento sobre la geometría de estas estructuras.

En este experimento, la deformación extensional produce una falla maestra que fragmenta la sección pre-extensional con una orientación que limita el plano axial de un anticlinal. Una vez que la falla maestra cesa a través del pliegue por propagación por falla, en el *hanging wall* (bloque techo) se desarrolla una deformación pasiva acomodándose la falla en curva. Unidades sin-extensionales muestran un cambio de espesor más brusco a lo largo de la falla maestra (*Figura III-13*) y un espesor mayor en el *hanging wall*, lo que forma un simple pliegue en el modelo durante la compresión.

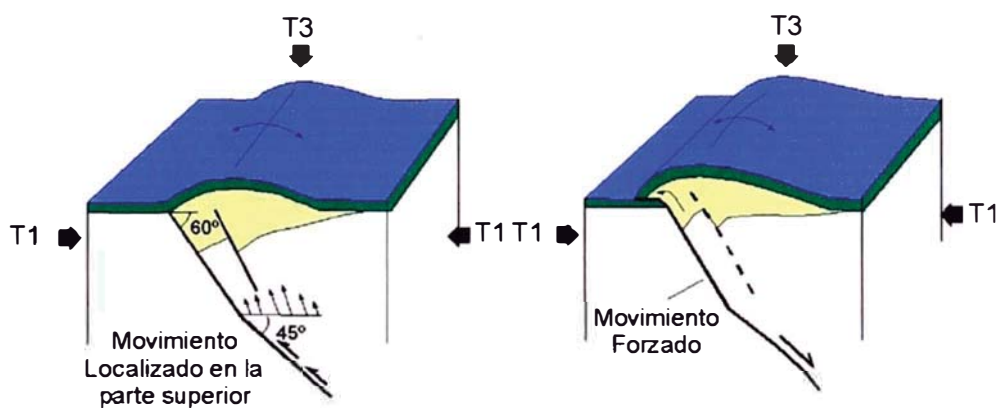
3.4.5 Construcción de Secciones Estructurales

Las tres únicas secciones sísmicas que cortan parte de la cuenca de Pachitea han servido para la interpretación geométrica. A partir de estas se han construido secciones estructurales a profundidad. Además de levantar dos secciones locales de campo, que sirvieron para la construcción de la columna estratigráfica (*Figura III-1*, *Figura III-2*). También aportaron a estas, las observaciones de campo y las correlaciones de los pozos Oxapampa.

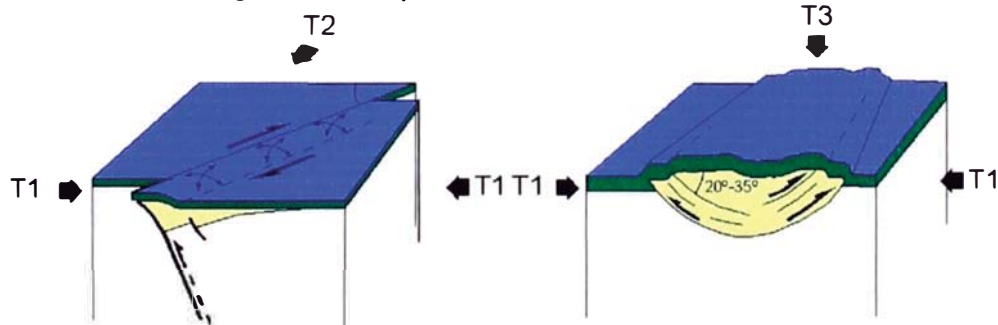
Las conversiones de tiempo a profundidad necesarias para las interpretaciones posteriores son en base a dos métodos. El primero del tipo computacional, en una workstation y un software de procesamiento de líneas sísmicas, el cual arroja valores bastante cercanos a la realidad (aplican algoritmos y filtros, que; por ende, es netamente matemático); el segundo método es en base a la información de las líneas sísmicas, VRMS (velocidades de frente de onda entre “shots points”) las cuales proporcionan una información fiable y de menor costo que el primero pero a la vez mecánico.



A) Extensión e inversión en compresión de semigraben
Tomado de Cooper et al, 1989



B) Régimen Compresivo $T1 > T2 > T3$ $T3 = \text{Vertical}$

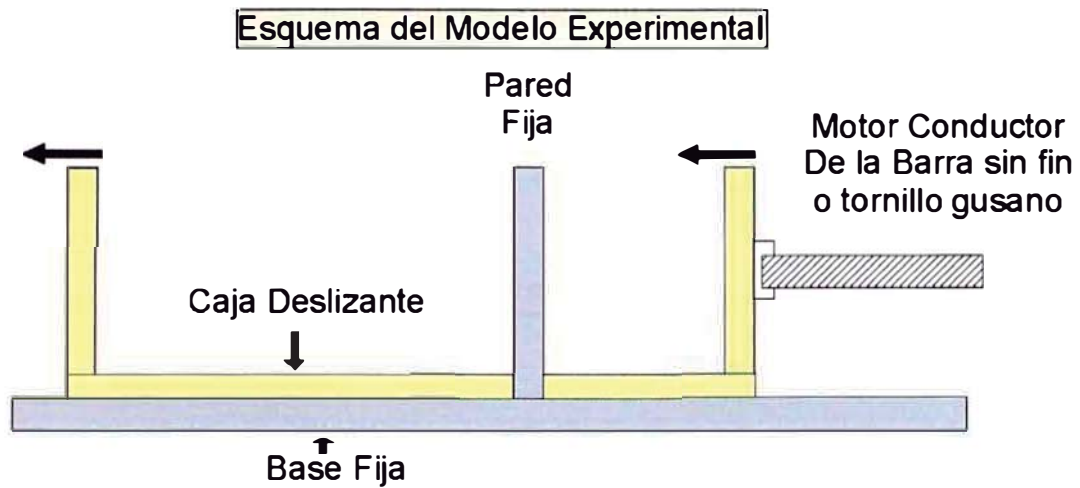


C) Régimen Trascorrente
 $T1 > T2 > T3$ $T2 = \text{Vertical}$

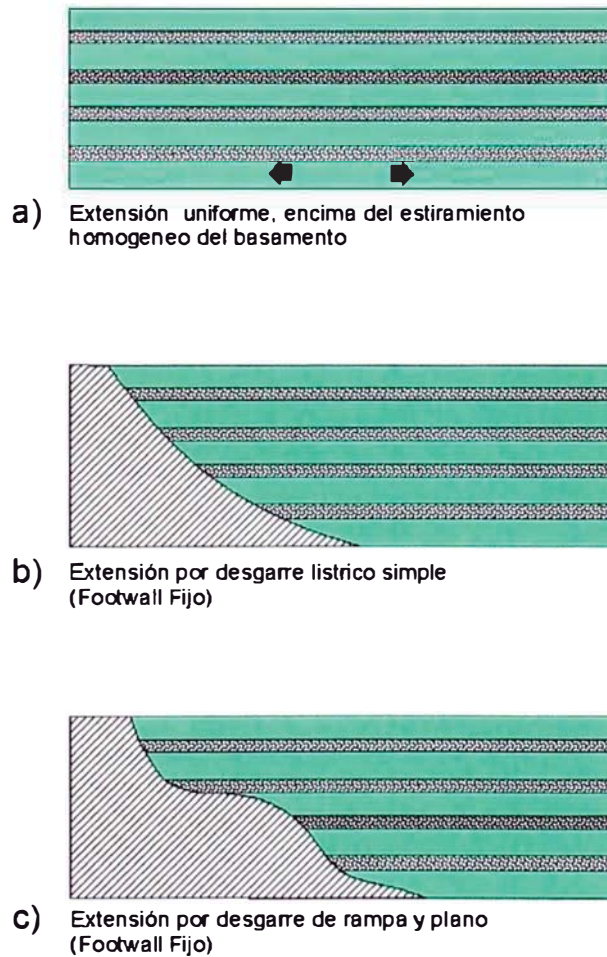
D) Régimen Compresivo Dentro de Un Movimiento Trascorrente
 $T1 > T2 > T3$ $T3 = \text{Vertical}$

Tomado de Letouzey et al, 1990; en Gil, 2001

Figura III-11.- Parte superior, A) modelo de inversión de un semigraben. Parte inferior, B), C), D): Factores que intervienen en la inversión tectónica (Véase en el texto la explicación)

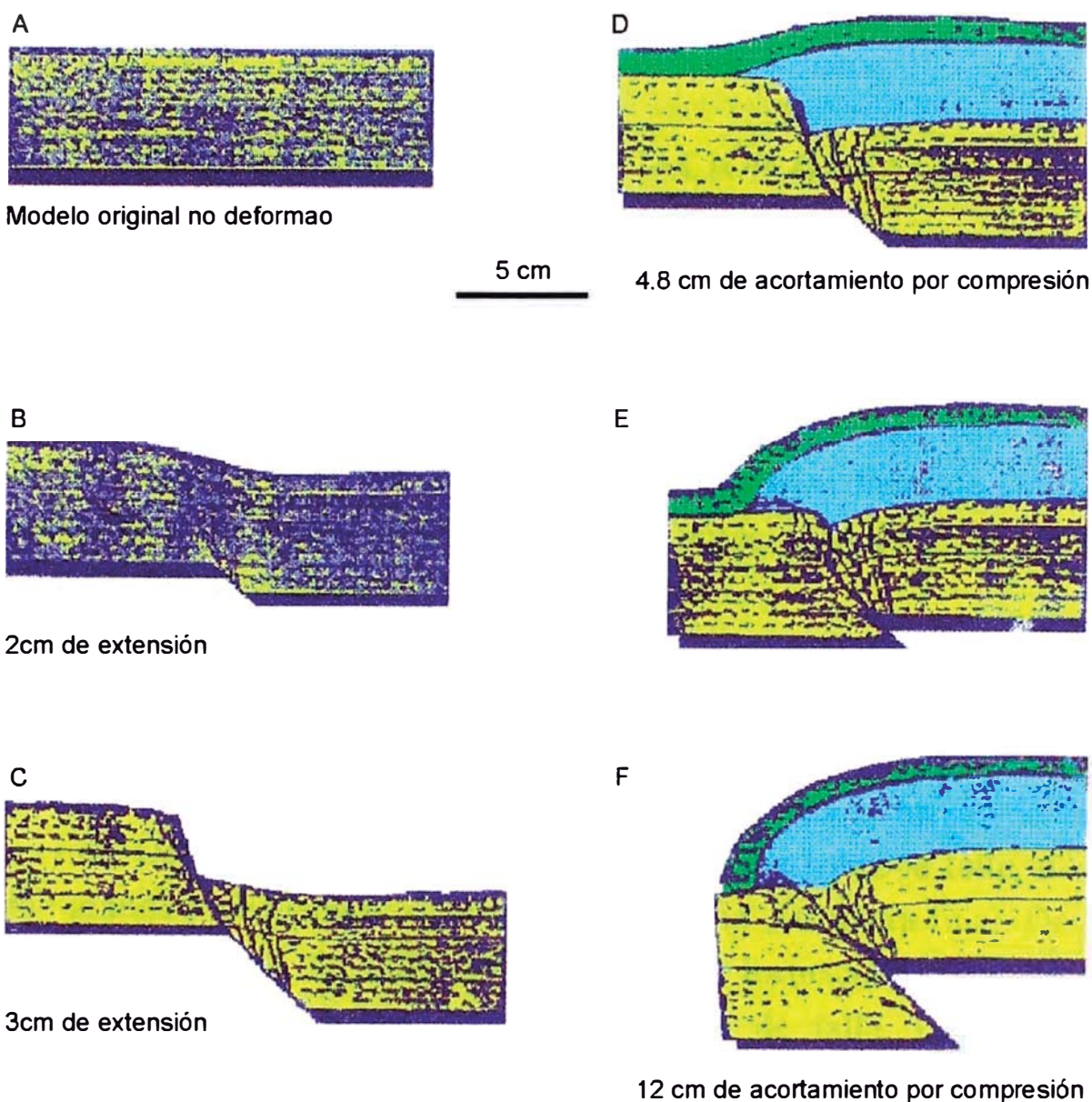


Esquema simple del aparato "Pull-Push" usado en los modelos
Según McClay y Ellis, 1987



Configuración del basamento para los modelos de extensión e inversión
Tomado de McClay, 1989

Figura III-12.- Simulación de modelos analógicos a partir de un esquema simple de caja de arena (Sandbox). La parte superior muestra el mecanismo de generación de esfuerzos; parte inferior las diferentes disposiciones del bloque piso o "footwall"

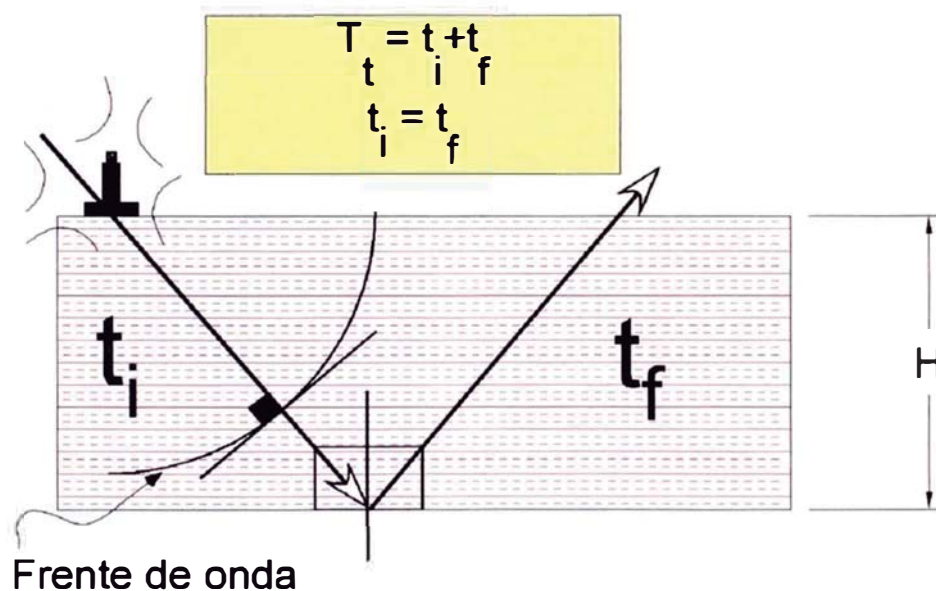


Fotografías de modelo experimental de inversión de estructuras extensivas con falla plana (45° de buz). Evolucionando a pliegue por flexión de falla (Tomado de Mitra 1993, en Gil 2001)

Figura III-13.- Modelo analógico que consta de capas de arena de diferentes colores. Desde la extensión de la estructura hasta la compresión de la misma se generan diferente tipo de fracturas y fallas. Estas en la etapa final de la deformación se comportan como la evolución de un pliegue por flexión de falla de 45° de inclinación.

Este último método es el que se ha realizado en el presente trabajo. Consiste en el registro de un tiempo doble, cómo muestra en la (Figura III-14), siguiendo el principio de mecánica de ondas, donde el tiempo de ingreso es igual al de salida. Esta velocidad que se encuentra en la cabecera de toda línea, a manera de tabla de tiempo, velocidad VRMS y velocidad por intervalo; es interpolada (mediante curvas de interpolación, se opto por el ajuste polinomial), obteniendo curvas de los valores de tiempo versus profundidad (H), la cual se muestra en la Figura III-15. Esta curva de interpolación representa el comportamiento de la sísmica en una línea vertical, siendo variable en zonas de cambios bruscos. Finalmente, obtenidas las curvas se procede a “plotear” las profundidades correspondientes a los reflectores sísmicos a lo largo de toda la línea vertical, teniendo en cuenta que la línea sísmica tiene que estar calibrada con su respectivo datum (ver 3.3). Se siguen estos procedimientos hasta cubrir toda la línea sísmica. A mayor cantidad de profundidades mejor será nuestro modelo.

La obtención de estos datos es de suma importancia para poder amarrar los respectivos horizontes reflectores y de esta manera obtener un buen control lateral.



$$H = (V_{vrms} * T_t) / 2$$

Figura III-14.- Principio de reflexión de onda, muestra la relación entre la velocidad vrms y la profundidad. Siendo este el que se aplicara a las secciones sísmicas para pasar de tiempo a profundidad.

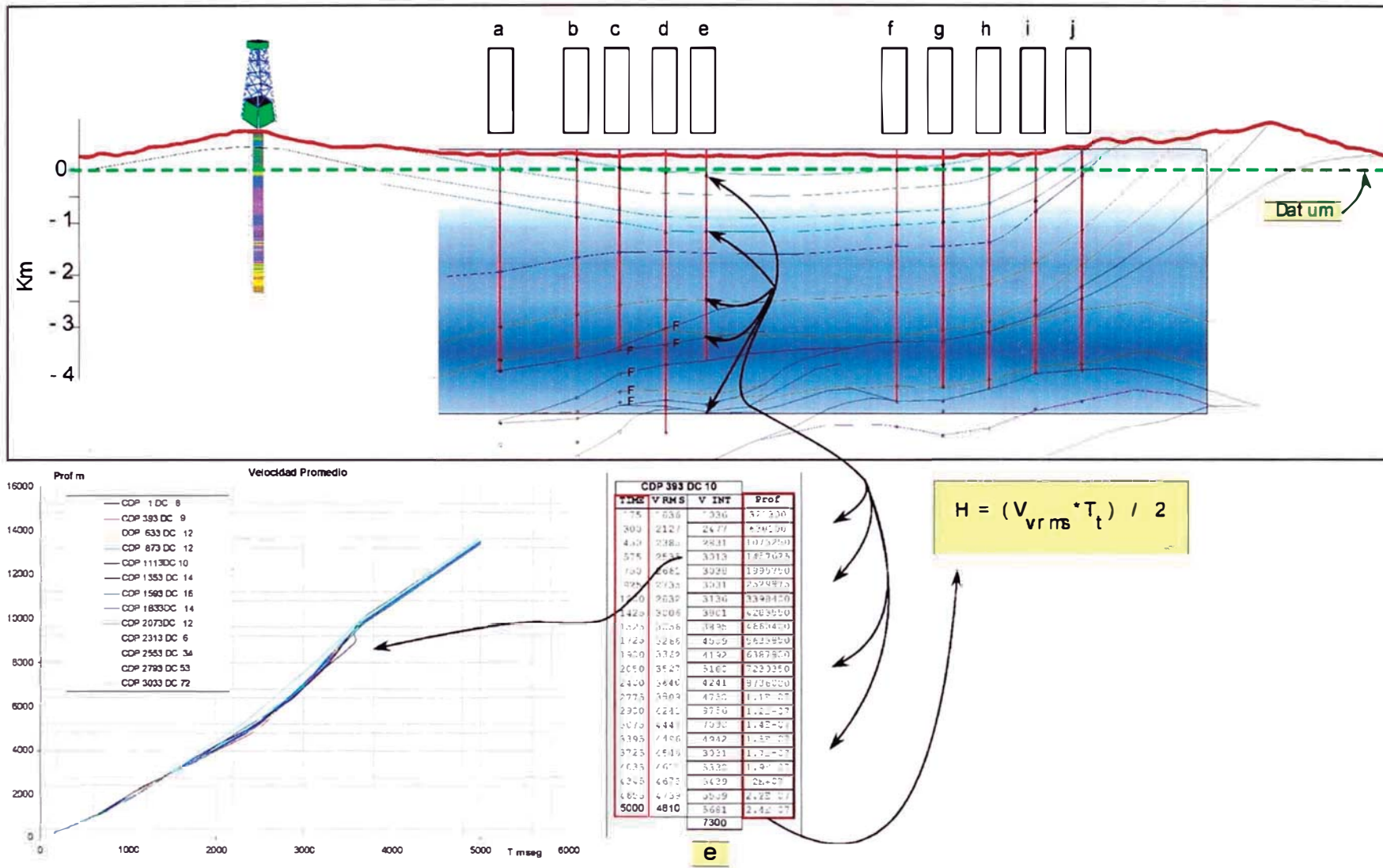


Figura III-15.- Muestra el proceso del paso de los reflectores de una línea sísmica, de tiempo a profundidad. Partiendo de los datos de la misma línea en papel, el cual cuenta con una tabla de tiempos y velocidades (VRMS y de intervalo), se interpola y “plotea” en el eje vertical, luego se generaliza a toda la línea sísmica).

3.4.5.1 Sección estructural A-A' (Figura III-25)

La sección estructural A-A' es construida en base a datos de campo (Figura III-16, Figura III-17), y atraviesa las secuencias de San Matías y parte de la cordillera Oriental. Su orientación es SSW-NNE y tiene una longitud de 13.765 km

La parte oeste de la sección muestra dos marcados corrimientos que en parte son mostrados en la sección B-B'. Estos corrimientos son de carácter regional y afectan a las secuencias paleozoicas y cretácicas superiores, los cuales son: los corrimientos de San Matías (San Matías Frontal Thrust y San Matías Thrust) y el Décollement de Cachiyacu. El corrimiento más oriental de San Matías es responsable de la repetición del eólico Ene y del conglomerado Mitú. Por otra parte, el Décollement de Cachiyacu solo afecta secuencias del Cretácico superior siendo este causado por el despegue de lutitas negras registradas con el PAC 70 (ver Foto 11 Capítulo IV). Más al oeste, se observan repeticiones de la formación Chonta hasta llegar a un corrimiento que hace repetir el grupo Mitú, la cual es corroborada por datos de OXY en el Río Cacazú (Figura III-1).

3.4.5.2 Sección estructural B-B' (Figura III-17)

Esta sección estructural al igual que la anterior se basa en datos estructurales de campo, orientándose de la misma manera SSW-NNE y teniendo una longitud de 13.471 km (Figura III-16, Figura III-17). Sin embargo esta sección corta las secuencias un poco más al este que la primera.

Esta sección estructural muestra al oeste, las secuencias del Paleozoico representadas por la el eólico de la formación Ene y el Grupo Mitú (anteriormente atribuido a la Formación Sarayaquillo), sobreyaciendo a estas, las secuencias cretácicas de la Formación Chonta y finalmente un nivel de despegue en la base de la formación Cachiyacu. Por otro lado se observa la ausencia o no depositación de la Formación Sarayaquillo. También al oeste de la sección, se nota la continuidad de las estructuras en el subsuelo, siendo esto corroborado con la sísmica al Norte y Sur de San Matías.

Al Este de la sección, se observa una cuña sedimentaria terciaria de 2.43 km de profundidad que progresivamente decrece en espesor, biselándose en los contrafuertes occidentales del Alto Shira.

La característica más resaltante de esta sección es: el frente de corrimiento de San Matías, que aflora en las montañas del mismo nombre, sabiendo además que las líneas sísmicas registran los flancos E – W y dejan un vacío de información entre estas, las cuales son completadas con los datos de campo de las salidas de IRD 1995, 2006. En otras palabras, las campañas de campo a través de las secciones estructurales permiten confirmar la presencia de tales afloramientos en las secciones sísmicas adyacentes.

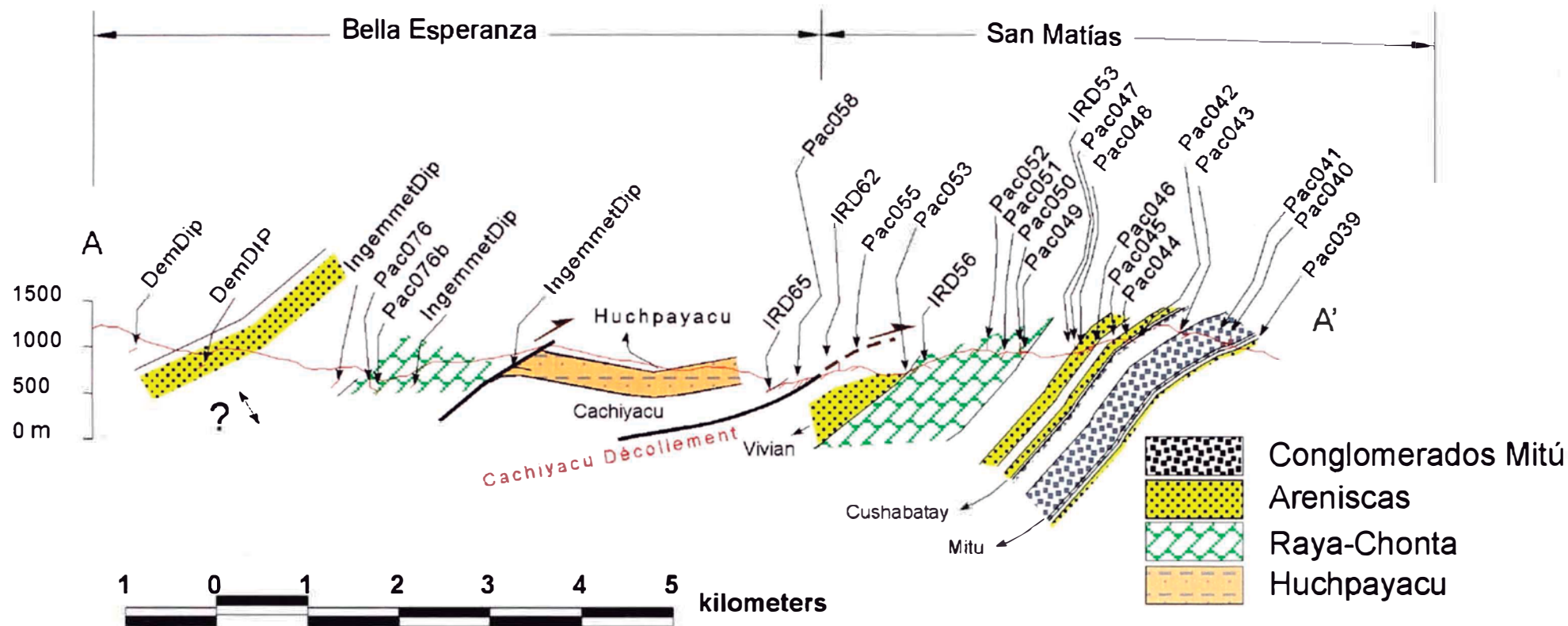


Figura III-16.- Sección estructural A-A' (ver mapa en Figura III-1) levantado con datos de campo, muestra la configuración de la cuenca, parte oeste de la misma.

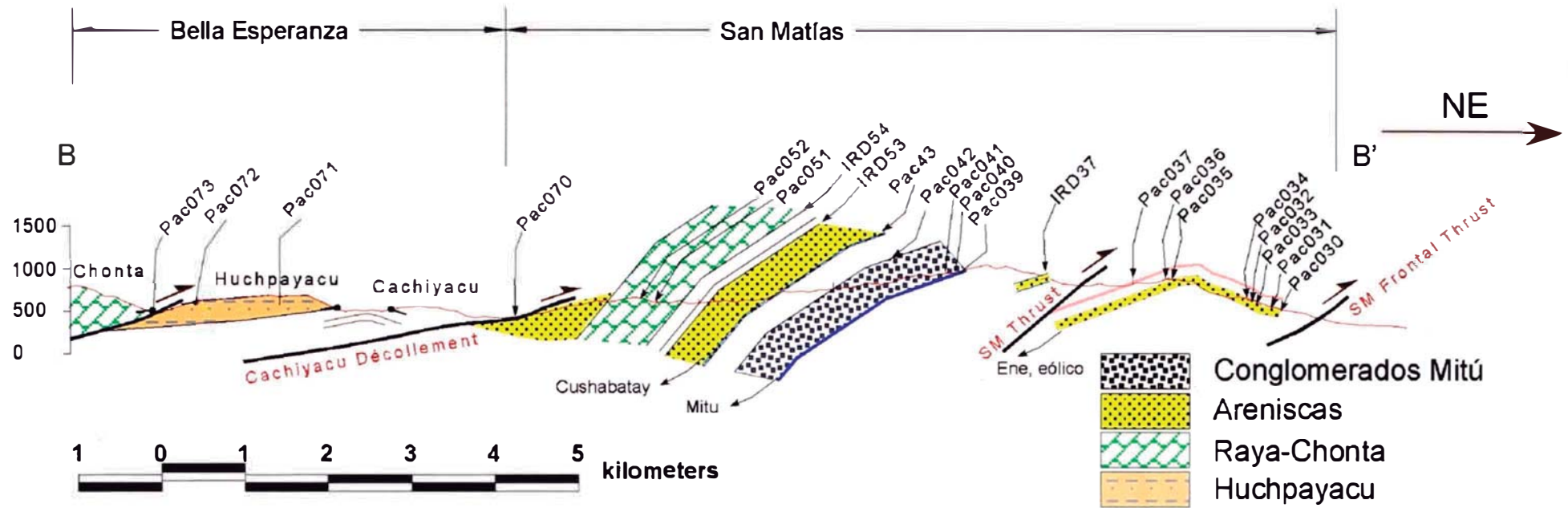


Figura III-17.- Sección estructural B-B', sección más al este que A-A', muestra la configuración de la cuenca, la parte frontal del corrimiento de San Matías.

3.4.6 Construcción de la sección balanceada G96 ENE 01 - G96 ENE 012

Se realizó la restitución del ensamblaje de líneas sísmicas G96 ENE 01 - G96 ENE 012, a la cual le llamaremos sección C-C' (*Figura III-2*), asumiendo la segunda interpretación analizada (ver 3.3.3). Recurriendo a los principios del método.

Existen en la actualidad una gran cantidad de modelos geométricos y cinemáticos para explicar el desarrollo de estructuras compresivas en la deformación, distinguiéndose dos lineamientos conceptuales bien definidos. Por un lado están los modelos en que las estructuras se representan esencialmente con geometrías curva y que pueden ser balanceados por área mediante métodos numéricos (Erslev 1986, 1991, Erslev y Rogers 1993, Allmendinger, 1998). En el segundo tipo de modelos, las estructuras se representan generalmente simplificadas y con geometría kink (Narr y Suppe 1994, McConnell y Wilson 1993, McConnell 1994, Mitra y Mount 1998) y en los mismos se puede realizar gráficamente un balanceo por área y longitud de líneas (En M. Turienzo y L.V. Dimieri). Para nuestro trabajo, nos enfocaremos en el segundo método, para lo cual no modelaremos, si no, solo realizaremos balanceo por conservación de la longitud y de áreas.

3.4.6.1 Generalidades sobre la técnica de sección balanceada

“Una reconstrucción palinspática (sección balanceada) tiene como objeto restituir la estructura al momento previo a la etapa de deformación que se está considerando, sea ésta compresiva o extensiva. Esto significa obtener la extensión y geometría original de la secuencia que se está estudiando. Su principal utilidad radica en que constituye una forma precisa de encontrar la distribución paleogeográfica de las diferentes secuencias o unidades litológicas que intervienen. Asimismo, mediante esta técnica se pueden calcular porcentajes de acortamiento o estiramiento de una secuencia, y combinándola con datos temporales se pueden computar velocidades de deformación.

Por otro lado, las técnicas palinspáticas constituyen un método esencial para chequear la viabilidad y posibilidad de una sección balanceada.” (E. Cristallini, 1988)

Existen 03 métodos de reconstrucción palinspática conocidos: reconstrucción por longitud de línea, reconstrucción por áreas y reconstrucción por métodos combinados. El primer método es el que veremos a continuación, siendo este el empleado en la sección C-C'. El segundo método es más complicado, pero sin duda más amplio ya que sirve para casos en que se mantiene constante el espesor de los bancos pero también para aquellos en los que no ocurre. Finalmente, el último método es la combinación de los dos anteriores y son de suma utilidad en sectores de fajas plegadas y falladas que involucran basamento y cuenca sedimentaria; en este tipo de balanceo se restituye la porción estratificada mediante longitud de líneas y el basamento por áreas.

3.4.6.2 Reconstrucción por longitud de línea

Este tipo de reconstrucción palinspática se considera la premisa de que se conserva la longitud de línea y por ende el espesor de los bancos antes y después de la deformación.

Para realizar la reconstrucción de una secuencia deformada mediante este método se mide la longitud de cada uno de los bancos entre dos líneas fijas definidas arbitrariamente en ambos extremos de la sección. Dichas líneas se denominan *pin line*, y como se vera, en algunos casos es conveniente usar mas de dos. La longitud de los bancos puede medirse mediante una regla o compás, mediante un curvímeter, mediante métodos digitales o utilizando papel de calcar con la secuencia dibujada. Este último método es uno de los más cómodos y comunes y se ilustra en la **Figura III-18**. Para restituir, por ejemplo, una sección plegada y fallada como se muestra en la **Figura III-19** se dibuja en un papel transparente el bloque autóctono y se continúa a traza de los bancos hacia el retroplás una distancia de aproximadamente el doble de la sección a reconstruir. Posteriormente se va siguiendo a partir del *pin line* ubicado hacia el antepalás la longitud de cada línea, cada falla atravesada y cada corte con la topografía.

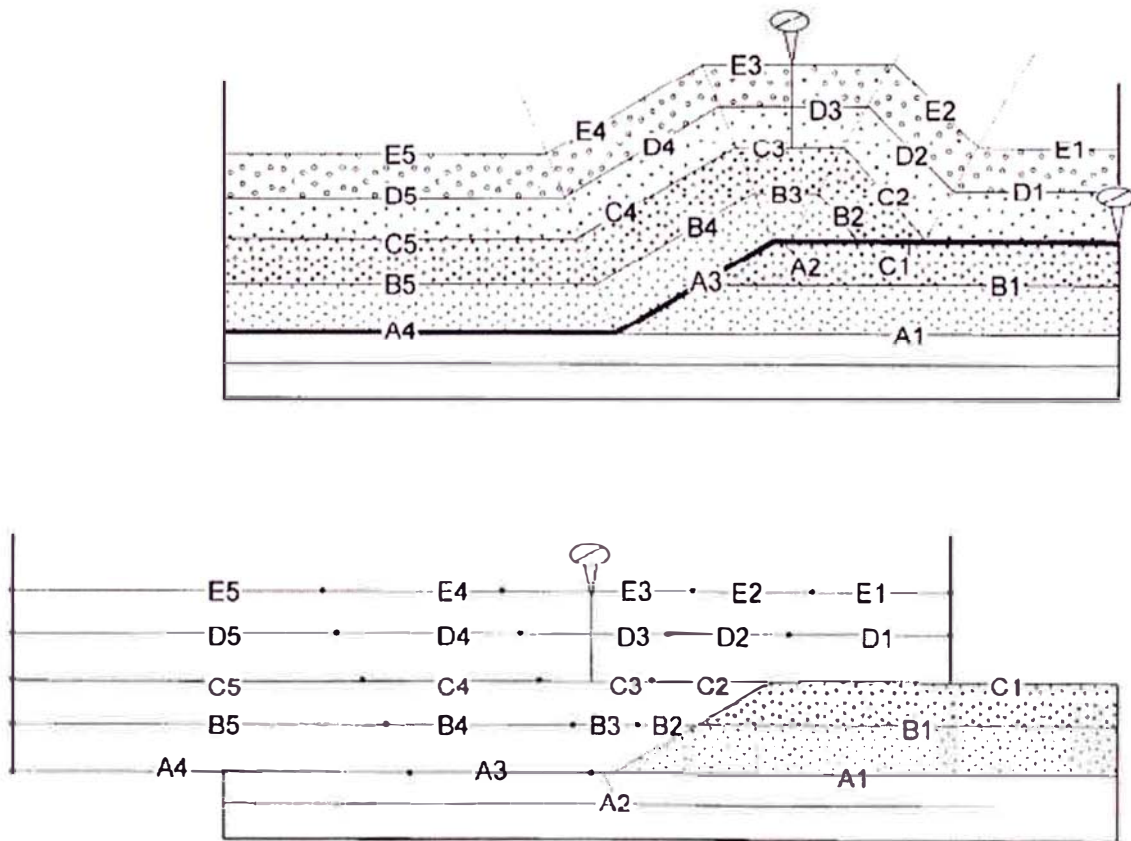
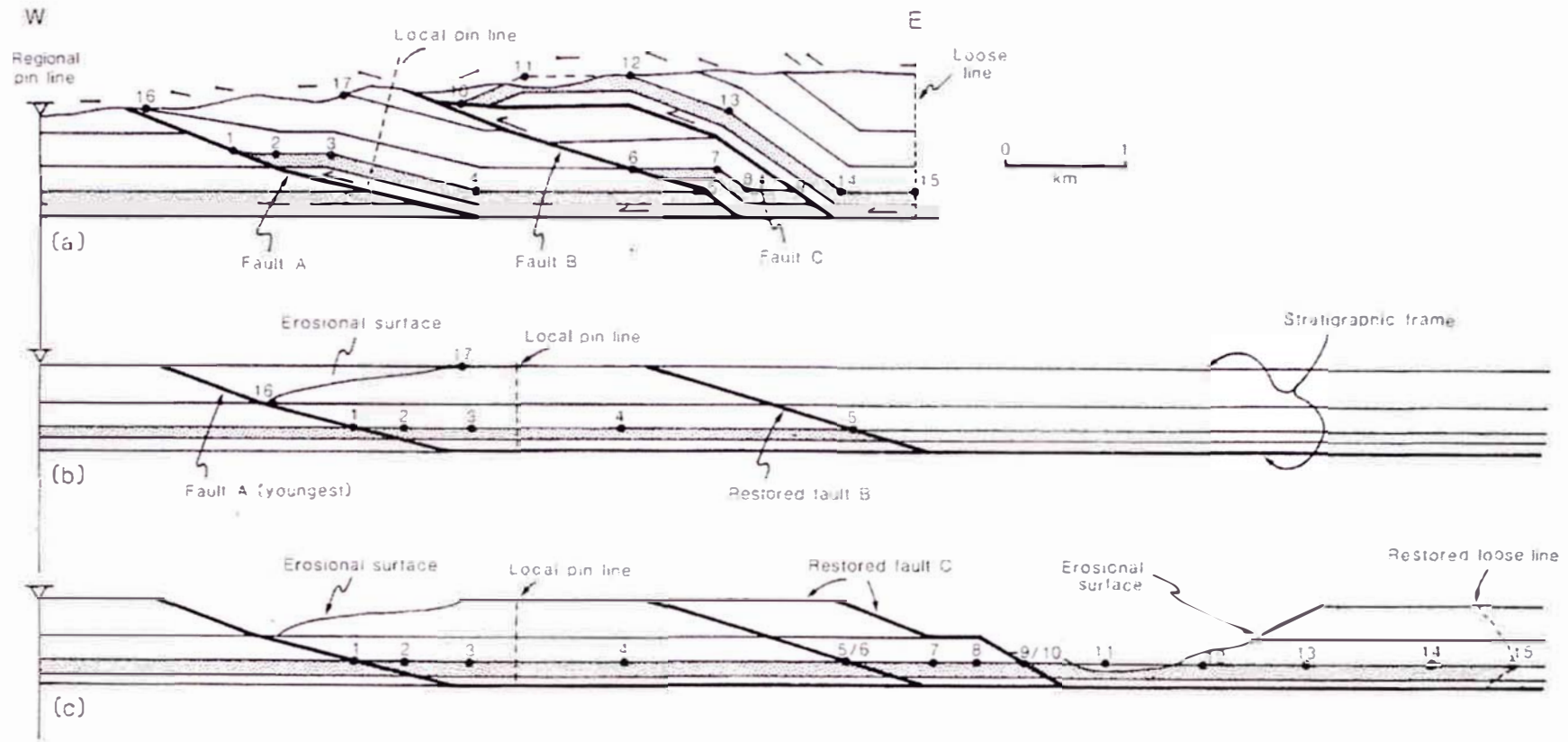


Figura III-18.- Se ilustra el método de balanceo por longitud de líneas. Nótese que cada segmento está rotulado igual en sección y en la reconstrucción. Se usan dos pin lines, una para los bancos ubicados por debajo del nivel de despegue superior y otra para ubicarlos encima.

Capítulo III: Geometría y estilo de deformación de la Sub-Cuenca Pachitea



Cross sections (a) Deformed-state cross section; (b) stratigraphic template for the restoration, and partial restoration; (c) completed restoration.

Figura III-19.- Ejemplo de una reconstrucción por conservación de longitud mostrando las diferentes etapas de restitución. En la figura a) se muestra la sección deformada; en la parte izquierda y derecha de la misma se tienen dos líneas límites Pin Line y Loose Line, respectivamente; la figura b) restauración de los niveles, como se observa los números 1,2,3... son las guías para la restitución. Figura c) muestra los niveles de erosión que son trasladados de la deformación.

3.4.6.3 Sección balanceada G96 ENE 01 - G96 ENE 012 (C-C')

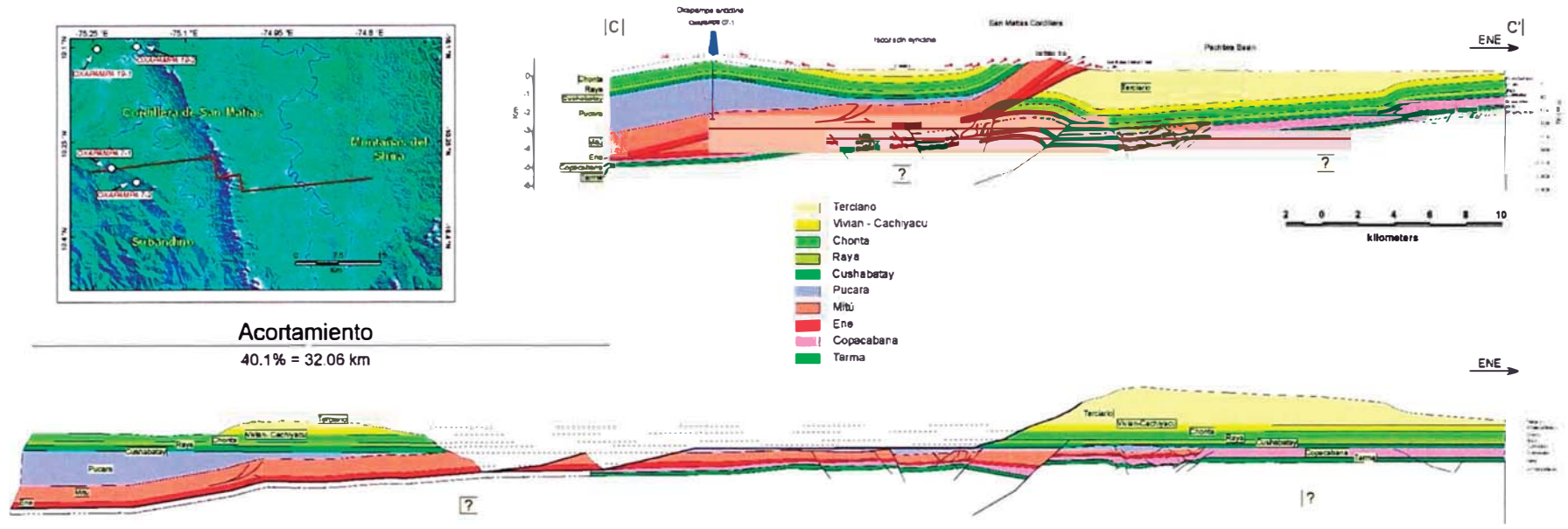
Para la construcción de la sección balanceada C-C' (*Figura III-1*, *Figura III-2*) se toma como referencia el horizonte cretácico, (*Figura III-20*) (Tope de la formación Cushabatay - Base de la formación Raya). Esta sección estructural es resultado de la integración de los datos de campo, las imágenes satelitales de la zona, el DEM (Digital Elevation Model) , el ensamblaje de las líneas sísmicas G96 ENE 01 - G96 ENE 012 y los registros litológicos del pozo Oxapampa 07-1, todos estos en profundidad.

La sección balanceada tiene una longitud de 43 km con una orientación W-E. Resalta en el centro de la sección un pliegue por flexión de falla desarrollado en la base de las Formación Ene y que se repite en la parte frontal del corrimiento de San Matías. Este corrimiento de edad Neógena involucra las capas superiores cretácicas y terciarias, las cuales se preservan en casi toda la sección. El depocentro está ubicado entre el flanco este de San Matías y el flanco oeste de las Montañas del Shira y es el lugar donde se encuentra en mayor espesor el terciario, conservándose además las capas inferiores (*Figura III-20*).

Por otro lado, el corrimiento de San Matías que se desarrolla de W a E presenta en el bloque piso niveles de sal que fueron interpretadas en la sísmica como facies salinas del Grupo Pucara, de manera que este otorga mayor movilidad (despegue) y aporta al desplazamiento de las capas superiores. Razón por la cual en los resultados de la restitución obtenemos un acortamiento mayor de 40% = 35.6 km. (*Figura III-20*).

Finalmente la restauración de esta sección fue la que aclaro muchas interrogantes respecto a la geometría de las estructuras presentes en la cuenca Pachitea. Muestran también la relación con las estructuras que se ubican más al norte de la Cuenca Ucayali, las cuales también presentan inversión de grabenes que será mencionada en el modelo tectónico regional.

Capítulo III: Geometría y estilo de deformación de la Sub-Cuenca Pachitea



Acortamiento
40.1% = 32.06 km

Figura III-20.- Sección balanceada restaurada en la base del Cretácico (Tope de la formación Cushabatay); en esta, al oeste se muestra el anticlinal de Iscozacín, ubicado en el eje del mismo, pozo Oxapampa 17-1. La parte oriental de la sección corresponde al monoclinal que deforma la plataforma de sedimentos paleozoicos – cretácicos, la cual aflora en Nevati, flanco oeste de las montañas del Shira y que a su vez evidencia inversión tectónica (Según Cortes balanceados en la cuenca Ene, Nicolás Espurt).

3.5 Modelo Tectónico Regional

Para la tectónica regional de la cuenca Ucayali Norte-Pachitea nos basaremos en las interpretaciones de secciones sísmicas de la Cuenca Ucayali por parte de PERUPETRO (2005) y de dos secciones construidas en la presente tesis; las cuales exhiben una tectónica de compresión en estructuras Pre-Cretácicas que claramente muestran la geometría de la cuenca en mención. Por otro lado, los métodos indirectos como son la gravimetría y los registros de sismos locales muestran la disposición de las zonas con rocas densas y las zonas activas de esta cuenca; otorgando un panorama general de estas.

Finalmente la descripción de estas secciones sísmicas presentan un nivel de interpretación todavía en discusión ya que la existencia de una u otra secuencia sedimentaria produce diversas interpretaciones respecto al potencial petrolero de la cuenca. (*Figura III-21*).

En el año 2002, TECNICA realiza la integración de los datos de gravimetría de todo el subandino, con datos recopilados de ANADARKO y CARSON para PERUPETRO en el área de Pachitea. Esta información “reploteada” en el presente estudio con métodos geoestadísticos, permiten conocer la configuración de la Sub-Cuenca Pachitea y la parte norte del la Cuenca Ucayali (*Figura III-21, Figura III-22*). Actualmente la compañía PETROLIFERA está realizando campañas sísmicas y aeromagnetometría en la zona que comprende su lote (*Figura 5, CapI*).

Los resultados de esta integración de datos de gravimetría muestra la variación de la densidad de las rocas. Basado en estos resultados, hay que hacer la salvedad que según recomendaciones de la empresa encargada, estos: “...son deficientes en su precisión, por su baja calidad y resolución”. Por tanto, se someten a interpretación tales resultados.

3.5.1 Reportes de sismos locales (*Figura III-23*)

En esta parte, las fuentes consultadas para la elaboración de los mapas de registro de sismos fue: el instituto geofísico nacional IGP y la base de datos de sismos de la USGS (servicio geológico de los EE.UU.). El primero fue compilado a partir de los años 1975 hasta el 2005. Para el caso de los datos del USGS, se obtuvo mediante su servidor en línea, con información de los registros de sismos de 1938 - 1981 (*Figura III-23*).

Los sismos registrados, basados en la escala de Mercalli, con mayor magnitud son los registrados con intensidad de 6.6- 7.3, localizados en las Montañas del Shira en los años 1933-1998. Además son los más numerosos; resultado de su actual actividad tectónica (*Figura III-23*).

En la Cordillera de San Matías, los sismos tienden al valor de 4.8, escala de Mercalli. Estos mismos son localizados en las prolongaciones de las fallas a profundidad. Siendo fallas activas, que se extienden hasta la Cuenca Ene, lugar donde se localizan los corrimientos de esta cuenca y afloran secuencias paleozoicas como la formación Ene.

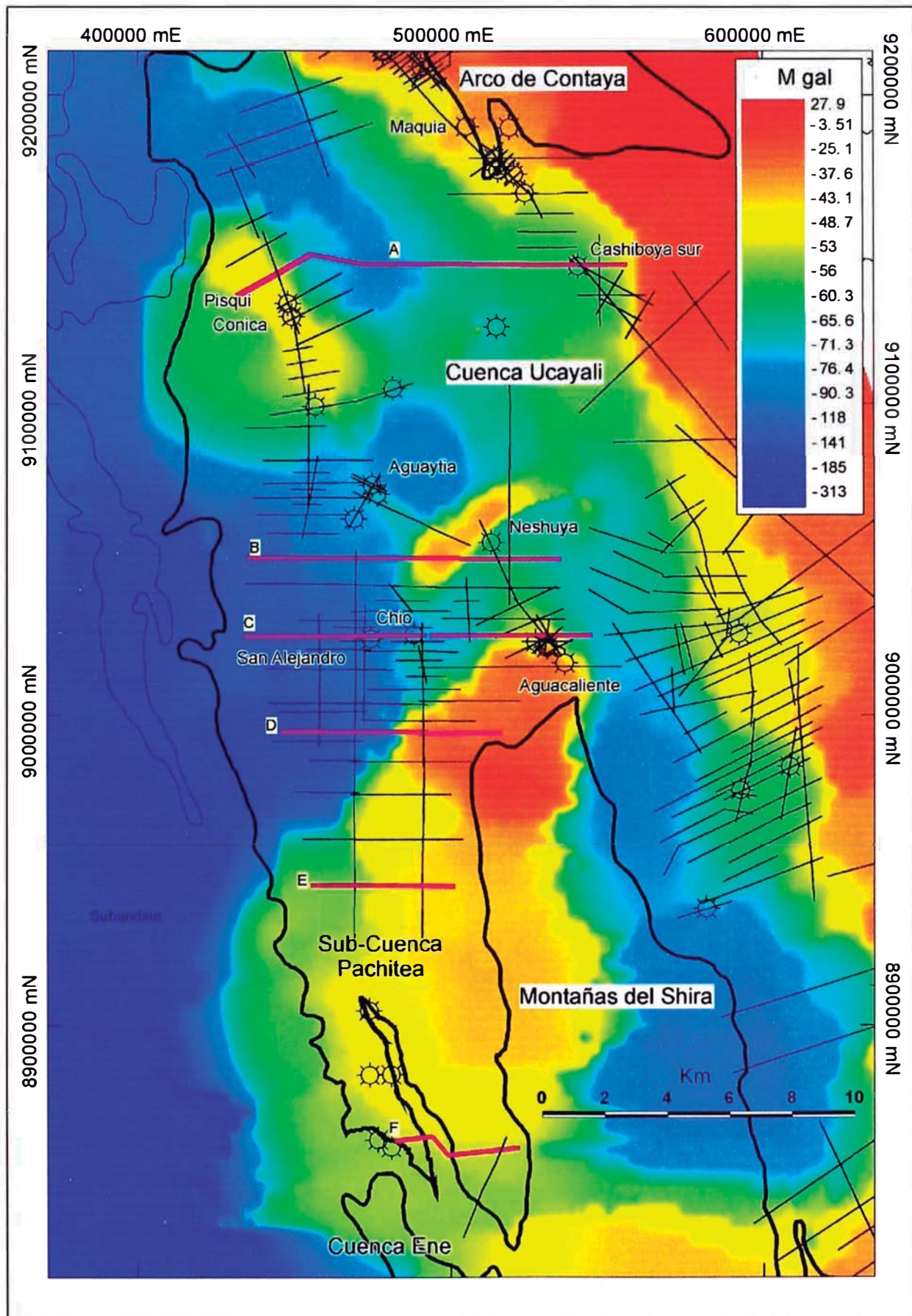


Figura III-21.- Mapa gravimétrico (Modificado, Fuente: Anadarko-Carson) con ubicación de las diferentes secciones sísmicas a lo largo de la cuenca Pachitea y Ucajali noroeste.

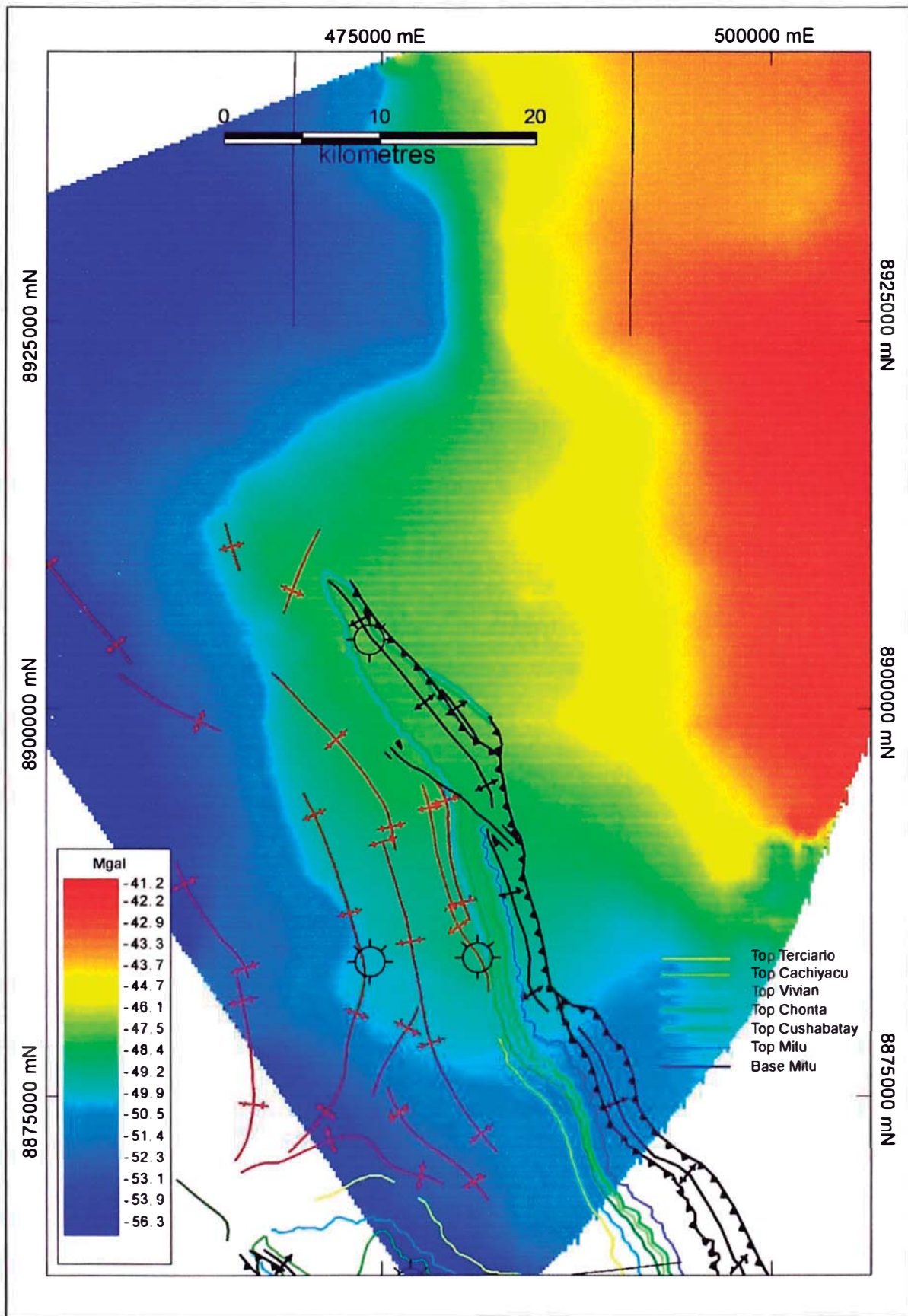


Figura III-22.- Acercamiento del mapa de gravimétrico en la Sub-Cuenca Pachitea, notar que la densidad de las rocas aumentan para el oriente (color rojo). Con ello confirma los afloramientos de secuencias paleozoicas en Nevati.

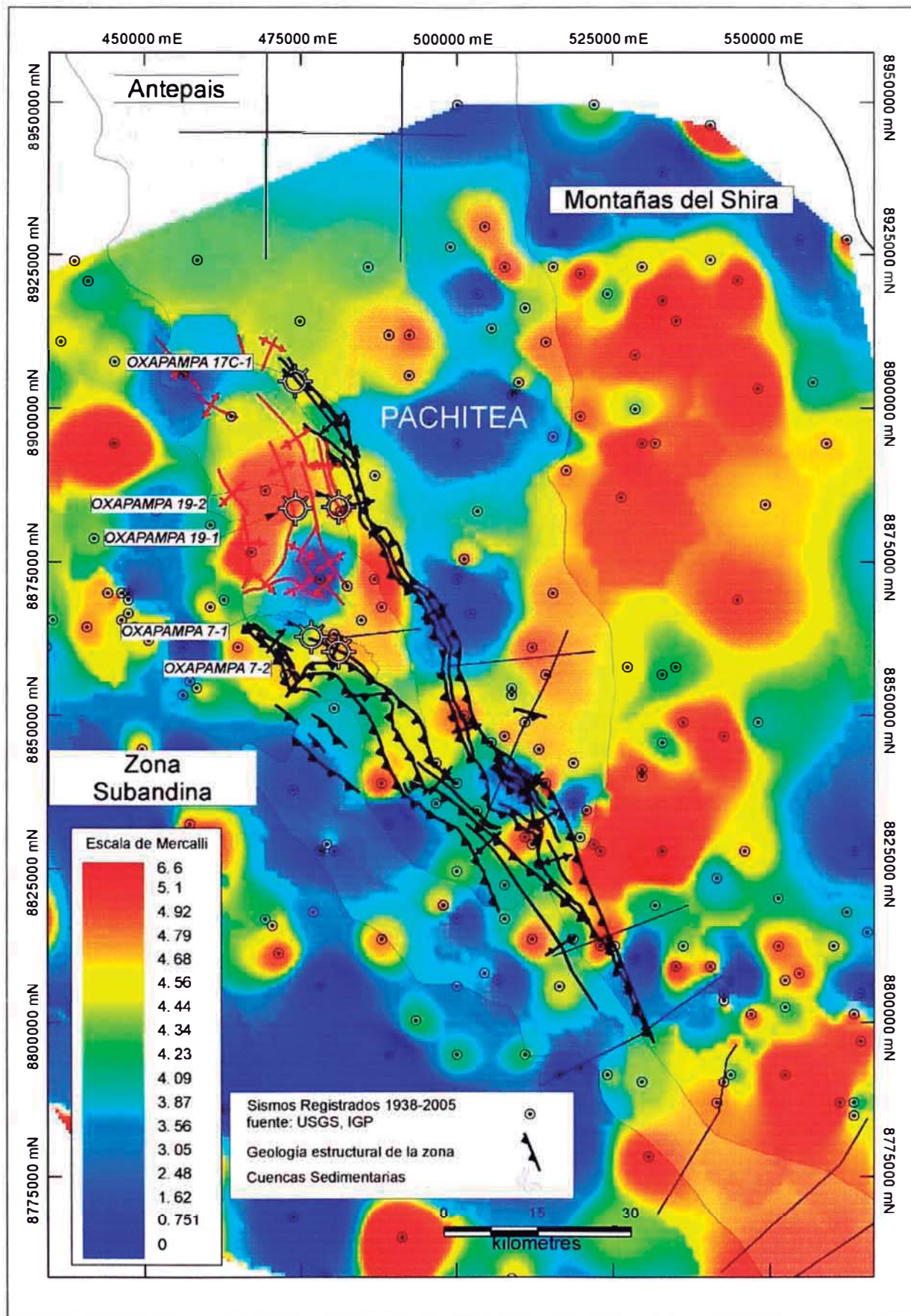


Figura III-23.- Mapa de distribución de sismos 1938-2005, mostrando las zonas geológicas activas y su correspondencia con los corrimientos de la cuenca.

3.5.2 Tectónica Regional

A nivel regional, diversos eventos tectónicos en la cuenca Ucayali-Pachitea evolucionan en un corredor estructural de norte a sur. Las secciones sísmicas que mostraremos a continuación son el resultado de las diferentes interpretaciones en la Cuenca Ucayali hasta la fecha, de los cuales: 04 secciones pertenecen a la evaluación de la cuenca Ucayali por parte de PERUPETRO y 02 secciones son interpretadas en la presente tesis.

Las secciones sísmicas interpretadas A, B, C, D son: (NP-15, G31-425), (G35-601, G31-416), (G35-603, G31-450) y (G35-606W, G35-606E) respectivamente realizadas por PERUPETRO, área de evaluación de cuencas, son en la mayoría secciones compuestas. Las secciones sísmicas interpretadas: E y F son: (G35-610) y (ELF96-12, ELF96-01) respectivamente formando parte del presente estudio. La sección E, es netamente interpretativa y no tiene un control geológico, siendo correlacionable con los horizontes sísmicos de las líneas anteriores; y finalmente la sección F es la sección restaurada vista en la apartado anterior (ver 3.4.6.3) y que además está en profundidad.

Las primeras secciones muestran el panorama general de la evolución tectónica, que junto con las dos últimas, son necesarias para entender la geometría de nuestra cuenca en estudio.

En la parte norte de la cuenca Ucayali, en los altos de Contaya, según reportes de pozo, líneas sísmicas y datos gravimétricos (*Figura III-21*), (Ucayali Final Report, Perupetro. Pp24,) el Paleozoico está a menor profundidad (CP739801, OR-95-08). De la misma manera al este se nota el mismo comportamiento (*Figura III-21*). Lo cual, de lo anterior, evidencia que el Paleozoico está presente y levantándose. Un poco más al sur a nivel de los Pozos Pisqui, Conica, Neshuya y Rashaya Sur, junto con la sísmica, se observa el estilo estructural de inversión de graben pre-cretácicos probablemente Triásico –Jurásico con vergencia este, interpretada en las líneas sísmicas (NP-15 y G31-425) y notorio en la sección A (*Figura III-24*) extendiéndose hasta el pozo Cachiboya.

En la sección B, de longitud de más de 100km con orientación W-E (*Figura III-24, Figura III-26*). El estilo estructural está dominado por pliegues asociados a inversión tectónica de grabenes invertidos y corrimientos en niveles de sal tanto en la base la Formación Sarayaquillo y en las secuencias finas basales del Grupo Cabanillas. En la parte este de la sección se nota la prolongación SW de la estructura Aguaytia; a profundidad de esta se muestra un graben invertido que según interpretaciones de PERUPETRO sería rellenado con sedimentos Triásicos -Jurásicos. Debajo de esta, la interpretación sísmica muestra un intervalo aparentemente equivalente al Grupo Mitú (Hermoza, W 2005). En la parte central de la sección, se nota la prolongación norte de la estructura san Alejandro; y, al este, la culminación norte de la estructura Agua Caliente.

En la sección sísmica C, de longitud aproximada de 112 km orientada W-E (*Figura III-24, Figura III-27*) de la misma manera que las anteriores secciones, prevalece el estilo estructural de inversión tectónica; caracterizada por pliegues anticlinales asociados a inversión de fallas listricas extensivas; en este caso, a

corrimientos asociados a niveles de despegue localizados en la parte basal de la Formación Cabanillas. Por otro lado, los corrimientos asociados a horizontes evaporíticos muestran poco desarrollo lateral y vertical, los cuales solo ayudan como despegue de horizontes Jurásicos –Cretácicos, confirmadas estas secuencias por el pozo Chio IX. Además, en la sección se encuentran dos estructuras muy importantes, la estructura San Alejandro y la estructura Domo Agua Caliente.

En la sección sísmica D, de longitud de más de 71 km y orientada W-E, (*Figura III-24, Figura III-28*), contrariamente a las secciones sísmicas presentes al norte, difiere por su relativa calma tectónica. Es decir, se caracteriza por no presentar importantes estructuras tectónicas. Estructuras menores se presentan al oeste de la sección, corrimientos que involucran al basamento. Sobre esta se observa en las secuencias neógenas un corrimiento asociado a un posible sinclinal frontal. En la parte oriental de la sección, representado por el flanco occidental de las Montañas del Shira que constituyen uno de los elementos estructurales más representativos en la Sub-Cuenca Pachitea, observamos fallas inversas de fuerte ángulo con vergencia oeste; posiblemente como efecto de la inversión de antiguos semi-graben paleozoicos. Por último, hay que notar la extensión lateral de los niveles de sal que se vieron en las anteriores secciones y que tienen relación más al sur con las siguientes secciones E y F.

En la sección sísmica E de longitud de más de 46 km y de orientación W-E, (*Figura III-24, Figura III-29*) se observa la misma tendencia de las secuencias paleozoicas-cretácicas de la anterior sección sísmica. No se desarrollan estructuras importantes, los reflectores sísmicos no tienen un control litológico pero respecto a las anteriores secciones se encuentra un nivel guía regional como son los niveles de sal en la base de la Formación Sarayaquillo y tope del Grupo Pucara, los cuales también se encuentran en esta sección y permiten identificar las demás series sedimentarias.

La sección compuesta F, construida en base a datos de campo, líneas sísmicas y registro de pozo (ver apartado 3.4.6.3) es determinante en el estudio de las relaciones estructurales de la Sub-Cuenca Pachitea. En este caso, se observa un estilo compresivo simple de plano rampa donde afloran secuencias paleozoicas, los cuales son representados por un frente de corrimiento denominado “Frente de corrimiento San Matías”. Debajo de este anticlinal de rampa se muestra otro anticlinal el cual es producto de la inversión tectónica de un graben paleozoico con similitud a las líneas sísmicas anteriores. En efecto, en la parte oriental de esta sección como las anteriores, y límite oeste de las Montañas del Shira se observa las secuencias sedimentarias de semi-grabens invertidos producto de una tectónica de basamento en las Montañas del Shira, que explicaría las estructuras levantadas que se ven en la parte oriental de las secciones D y F.

En conclusión, a lo largo del tramo N-S, parte Norte de la Cuenca Ucayali hasta el sur, Sub-Cuenca Pachitea, las estructuras presentan una tectónica de compresión que se manifiesta por inversión de estructuras paleozoicas y se traslada hacia la parte este de las secciones. A nivel de la Sub Cuenca Pachitea, se manifiesta como corrimientos de plano rampa con despegue en el Paleozoico e inversiones de grabenes por parte de una tectónica de basamento de las montañas del Shira. Por último, la Formación Sarayaquillo está presente al norte, pero es ausente en la Sub-Cuenca Pachitea. Este podría ser explicado como una erosión a la base del Cretácico.

Este hecho es también evidente en la parte central de la cuenca ENE, Pongo de Paquizapango donde “...es muy probable que desaparece el reservorio Jurasico Sarayaquillo, por efectos de esta erosión [regional a la base del cretácico]” (P.Baby, Nicolas Espurt: inf. Final IRD-PERUEPTRO-PLUSPETROL; 2006).

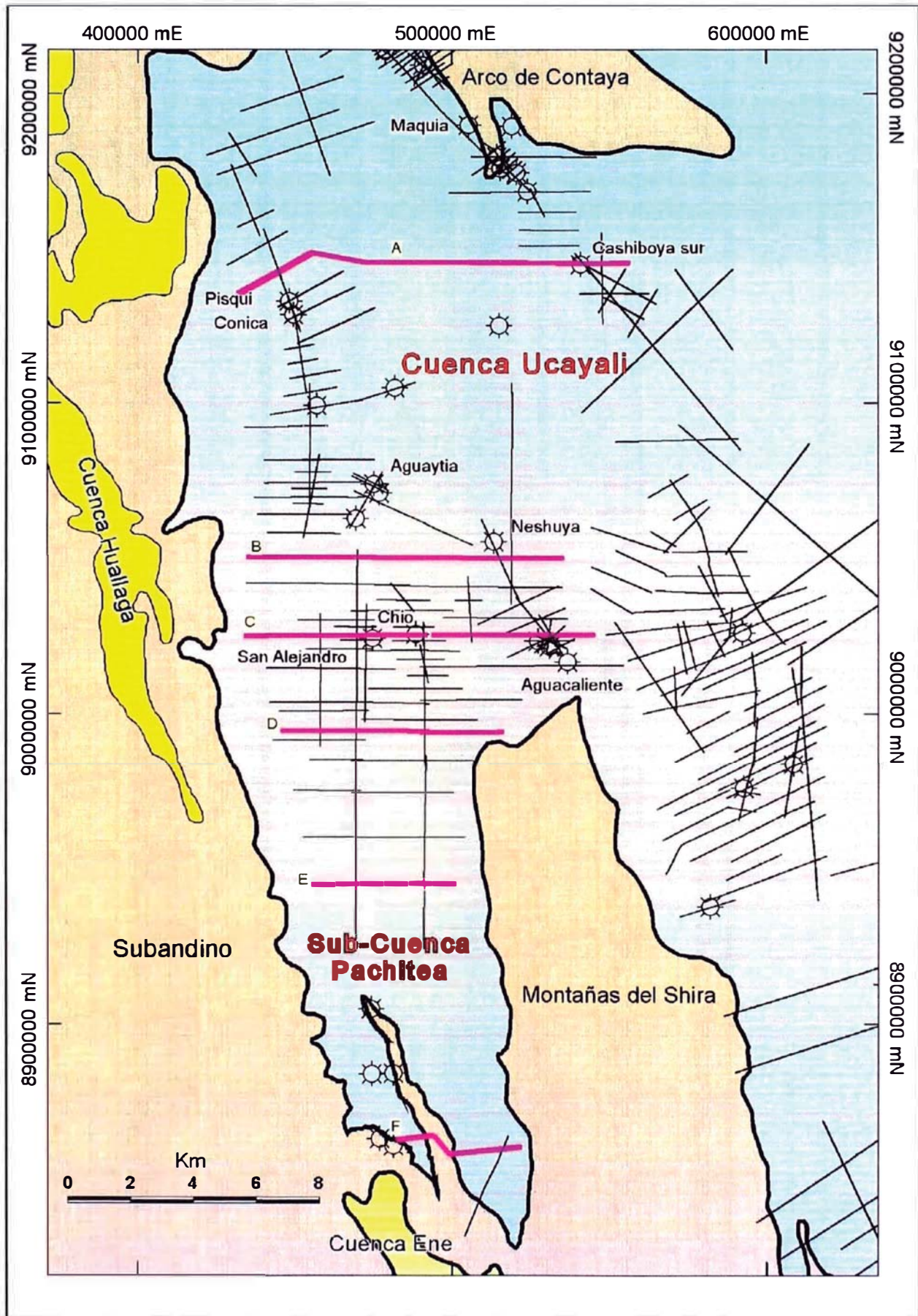


Figura III-24.- Mapa geomorfológico de la cuenca Ucayali- Pachitea, con la ubicación de las secciones A, B, C, D, E y F de orientación W-E.

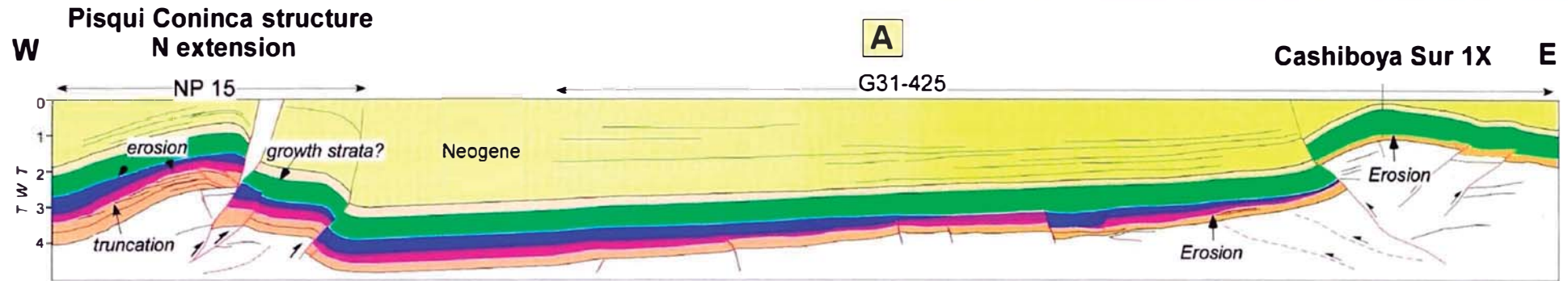


Figura III-25.- Sección sísmica "A" interpretada por PERUPETRO (W. Hermoza; 2005), que muestra las estructuras reactivadas e invertidas. Estructuras como Conica y Cashiboya, ver ubicación en la Figura III-24.

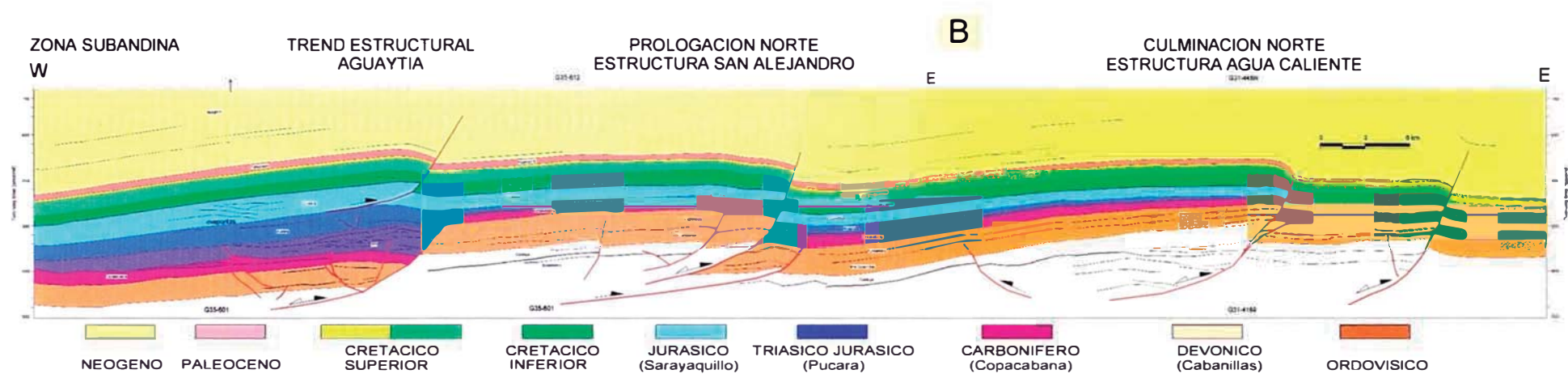


Figura III-26.- Sección sísmica "B" interpretada por PERUPETRO (W. Hermoza; 2005), mostrando el mismo estilo de inversión tectónica de la fallas listricas. Notando que las secuencias paleozoicas han heredado una tectónica distensiva.

Capítulo III: Geometría y estilo de deformación de la Sub-Cuenca Pachitea

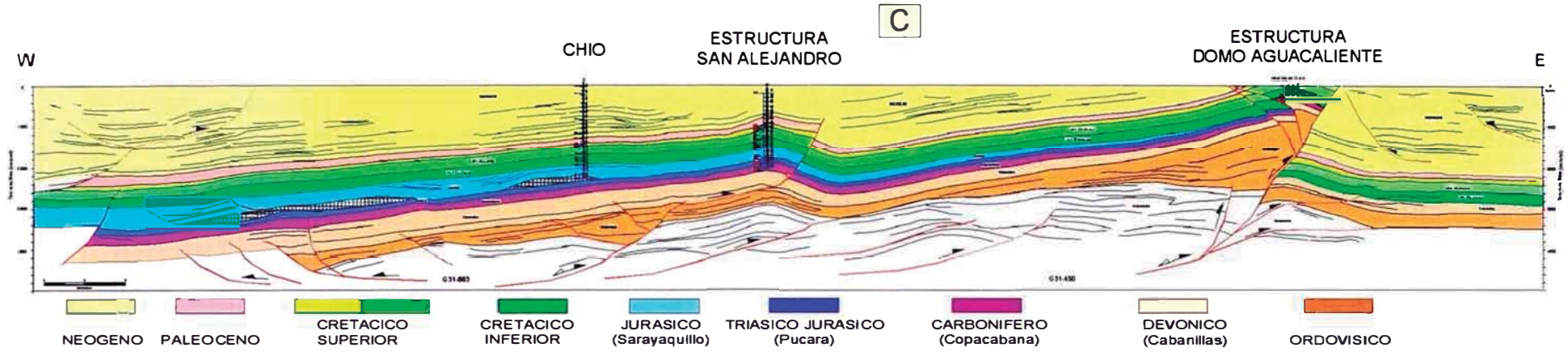


Figura III-27.- Sección sísmica "C", interpretada por PERUPETRO (W. Hermoza; 2005), mostrando las estructuras San Alejandro y Agua Caliente. Como también el estilo estructural de las mismas.

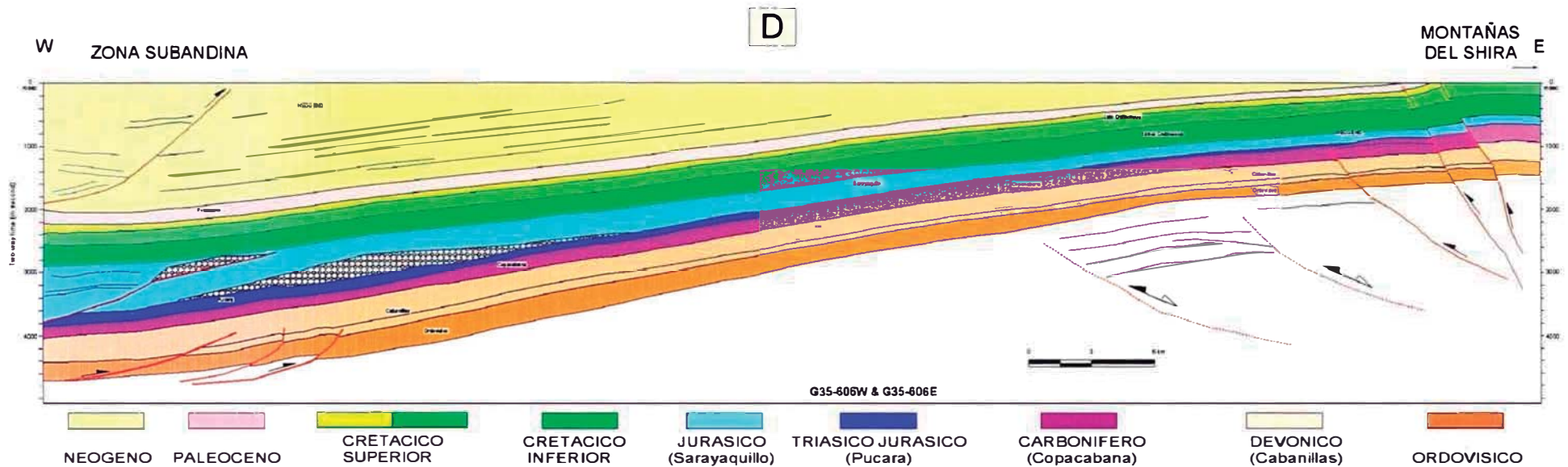


Figura III-28.- Sección Sísmica "D", interpretada por PERUPETRO (W. Hermoza; 2005). Notar el cambio de las estructuras y la continuidad lateral de los niveles de sal respecto a las secciones anteriores.

Capítulo III: Geometría y estilo de deformación de la Sub-Cuenca Pachitea

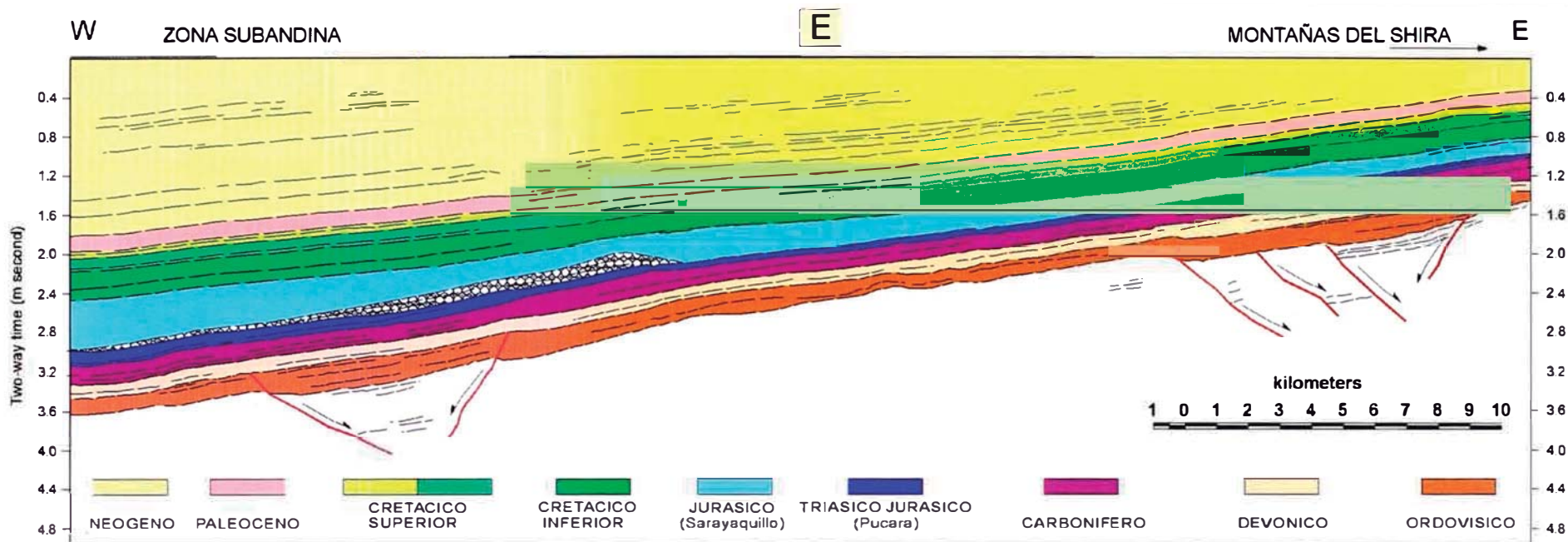


Figura III-29.- Sección sísmica "E" interpretada solo con horizontes reflectores. Muestra la tendencia de las secuencias sedimentarias al sur y la persistencia de los niveles de sal.

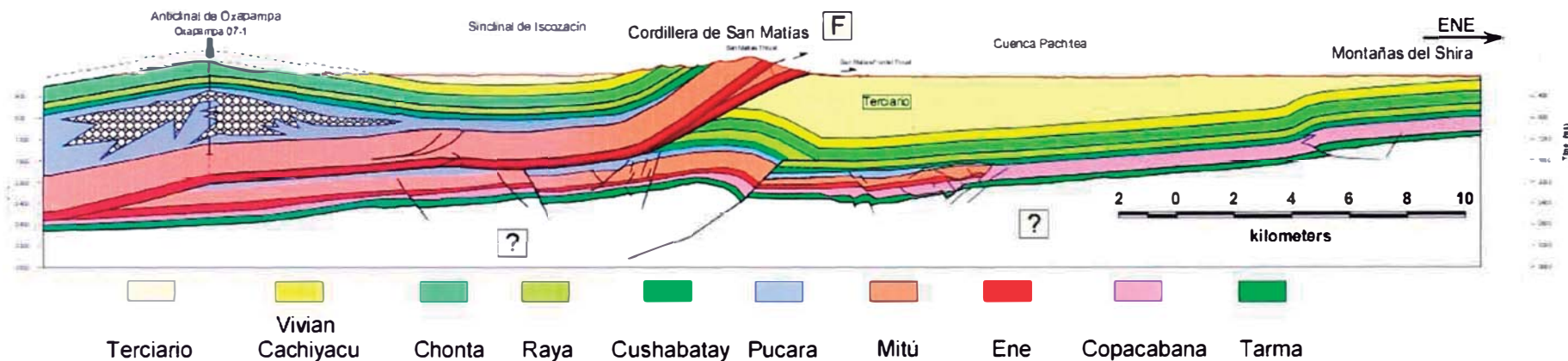


Figura III-30.- Sección estructural compuesta "F", integrada con datos de campo y registro de pozo, ver con mas detalle capítulo III.

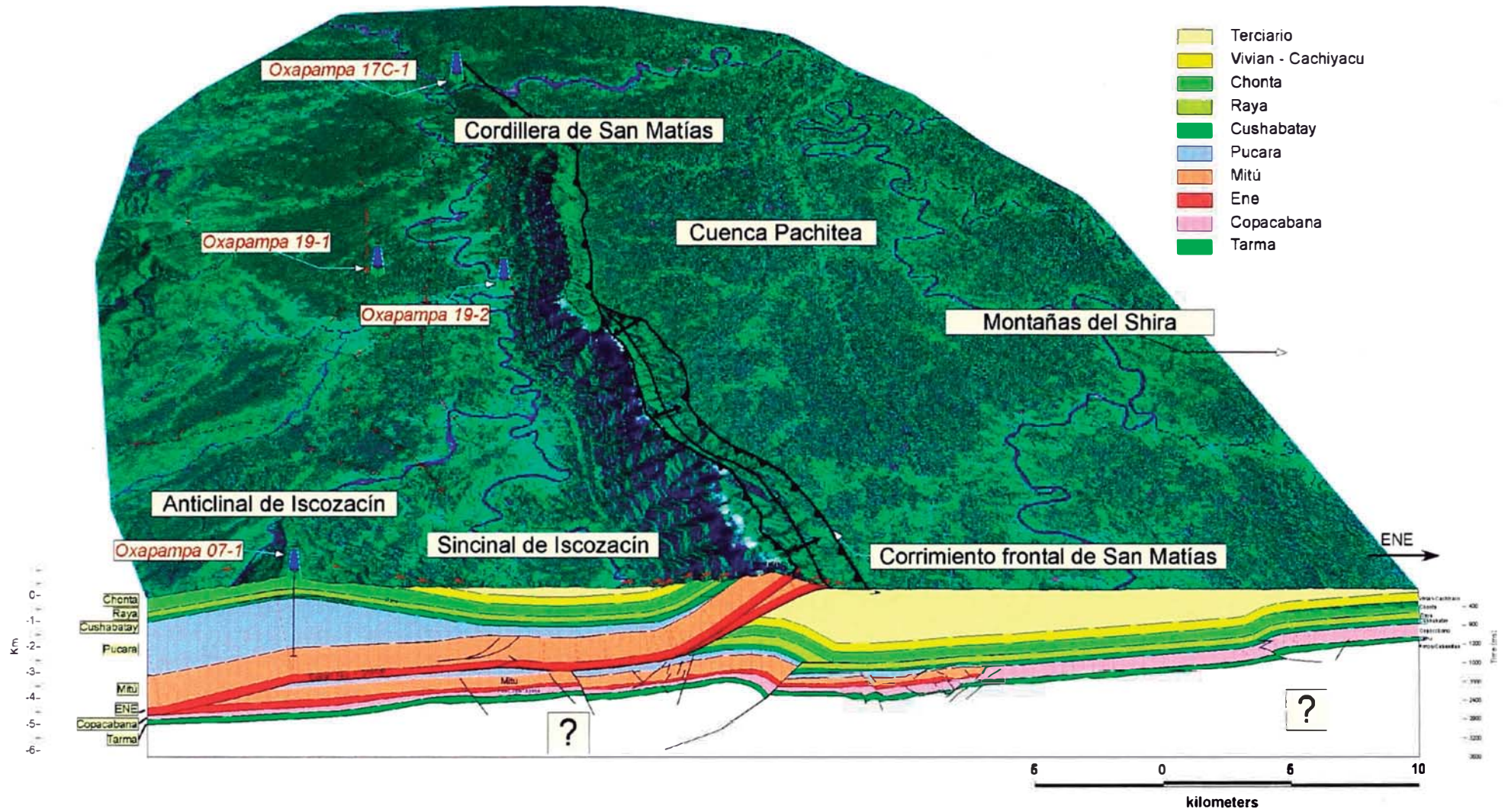


Figura III-31.- Bloque diagrama 3D de la sección estructural compuesta F, mostrando la geometría total de la Cuenca Pachitea.

CAPITULO IV

| | |
|---|-----------|
| CÁPITULO IV NUEVA ESTRATIGRAFÍA..... | 66 |
| 4.1 INTRODUCCIÓN..... | 66 |
| 4.2 DATOS DE CAMPO Y ESTRATIGRAFÍA..... | 67 |
| 4.2.1 Salida de campo Puerto Bermúdez (IRD 2006)..... | 67 |
| 4.2.1.1 Pérmico Inferior..... | 73 |
| 4.2.1.1.1 Formación Ene..... | 73 |
| 4.2.1.2 Permo – Triásico..... | 75 |
| 4.2.1.2.1 Grupo Mitú..... | 76 |
| 4.2.1.3 Jurásico..... | 78 |
| 4.2.1.4 Cretácico..... | 78 |
| 4.2.1.4.1 Formación Cushabatay..... | 78 |
| 4.2.1.4.2 Raya y Chonta..... | 81 |
| 4.2.1.4.3 Vivian..... | 81 |
| 4.2.1.4.4 Cachiyacu..... | 81 |
| 4.2.1.5 Terciario Inferior..... | 82 |
| 4.2.1.5.1 Huchpayacu..... | 82 |
| 4.2.1.5.2 Yahuarango (Huayabamba)..... | 82 |
| 4.2.2 Compilación de datos ELF, OXY y PANENERGY..... | 85 |
| 4.3 INTERPRETACIÓN DE REGISTROS DE POZOS..... | 86 |
| 4.3.1 Antecedentes..... | 86 |
| 4.3.2 Interpretaciones..... | 87 |
| 4.4 CORRELACIONES ESTRATIGRÁFICAS POZOS OXAPAMPA - CORDILLERA DE SAN MATÍAS..... | 93 |
| 4.5 CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN ENE..... | 94 |
| 4.6 NUEVA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA PROPUESTA..... | 98 |

CÁPITULO IV NUEVA ESTRATIGRAFÍA

4.1 INTRODUCCIÓN

La campaña de campo desarrollada en el marco del convenio PERUPETRO-IRD-PETROLIFERA (IRD 2006) consintió en estudiar las secuencias sedimentarias entre los afloramientos de Villa Rica y Puerto Bermúdez. La compilación de los datos de campo de las campañas de Patrice Baby y Willy Gil (IRD 1995) en las mismas zonas -extendiéndose hasta los afloramientos terciario del Río Pichis- conjuntamente con la información de expediciones de reconocimiento de campo de las compañías ELF, OXY, PANENERGY y las imágenes satelitales permitieron, elaborar diversos diagramas, secciones y proponer una nueva estratigrafía de la SUBCUENCA PACHITEA.

Las campañas de campo del IRD 1995, 2006 (actual tesis) fueron determinantes en la elaboración de la columna estratigráfica a detalle de la Cordillera de San Matías, como también, los datos de la compañía ELF (1999) a través de sus mapas geológicos, columnas estratigráficas, secciones estratigráficas levantadas e información geológica en sus líneas sísmicas (ver **ANEXOS**). La recopilación de datos estructurales de las compañías OXY, ELF y PANENERGY permitieron tener un mayor control de la geología y ajustar las líneas sísmicas que cortan en parte de la cordillera de San Matías (ver **Anexo 2**).

La información de los pozos Oxapampa perforados por Cerropet, confirma la correspondencia de la estratigrafía de los pozos con los horizontes sísmicos de las secciones sísmicas de ELF. Por otra lado, esta correspondencia es también corroborado en el reprocesamiento de las mismas realizado por PETROLIFERA (2007).

El pozo Oxapampa 7-1 cuenta con mayor detalle y sirvió para la correlación de los pozos y la sísmica. Finalmente toda esta información ha sido registrada en el SIG del proyecto con el objeto de servir de soporte a nuestras interpretaciones.

4.2 DATOS DE CAMPO Y ESTRATIGRAFÍA

La información de campo se resume en dos grupos: los datos pertenecientes a las campañas de campo del IRD (1995-2006) y la recopilación de datos de las compañías OXY, ELF y PANENERGY.

Los primeros, datos del IRD 2006, son utilizados tanto en la estratigrafía como en la parte estructural y su codificación empieza con el prefijo PAC # (*Figura IV-2*). Por otro lado, los datos del IRD 1995 son recopilados de la libreta de campo del Dr. Patrice Baby y Willy Gil, que corrobora la información primera y llena algunos vacíos.

La recopilación de datos de las compañías OXY, ELF y PANENERGY permitieron fijar la extensión y límites de los afloramientos de la cordillera de San Matías, así como también, realizar cortes estructurales (*Figura IV-5*). En el caso de la información de ELF, se recuperó dataciones (*Figura IV-4*) que junto a dos muestras datadas por PLUSPETROL, PAC58, y por IRD, PAC76, despejaron varias dudas respecto a los corrimientos de San Matías.

4.2.1 Salida de campo Puerto Bermúdez (IRD 2006)

La campaña de exploración geológica en las zonas de la Merced, Villa Rica, Puerto Bermúdez e Iscozacín fue realizada del 28 de mayo al 03 de junio del 2006 (7 días). Estuvo organizada por el IRD e integrada por geólogos de PLUSPETROL, PETROLÍFERA y PERUPETRO. Entre los asistentes 05 geólogos y dos chóferes: los geólogos, Patrice Baby, Carlos Monges, Wilber Hermosa, Dennys Uyen, Miguel Allcca, Daniel Peña; y los chóferes José Berrospi y José Luís Faura.

La zona estudiada se ubica en el Subandino, parte sur de la cordillera de San Matías, teniendo como límites al este, las Montañas de Shira, al oeste, la Cordillera Oriental y al sur, la Cuenca Ene (*Figura -IV-1*).

Durante esta campaña se obtuvo nueva información geológica, la cual incrementa más aun el valor hidrocarburífero de la zona. Se recolectaron abundantes muestras de campo para análisis geoquímico, AFTA y paleontológicos, las cuales son estudiadas y evaluadas dentro de los proyectos que viene construyendo PERUPETRO-IRD.

A continuación, detallaremos la estratigrafía de los afloramientos de San Matías, sus características sedimentológicas (siguiendo la nomenclatura de *facies* de Miall, 1977, 1996), estratigráficas y el medio en que han sido depositados (según los elementos arquitectónicos de Miall, 1985, 1996), asimismo estas han sido la base para la construcción e la columna estratigráfica generalizada (*Figura IV-3*).

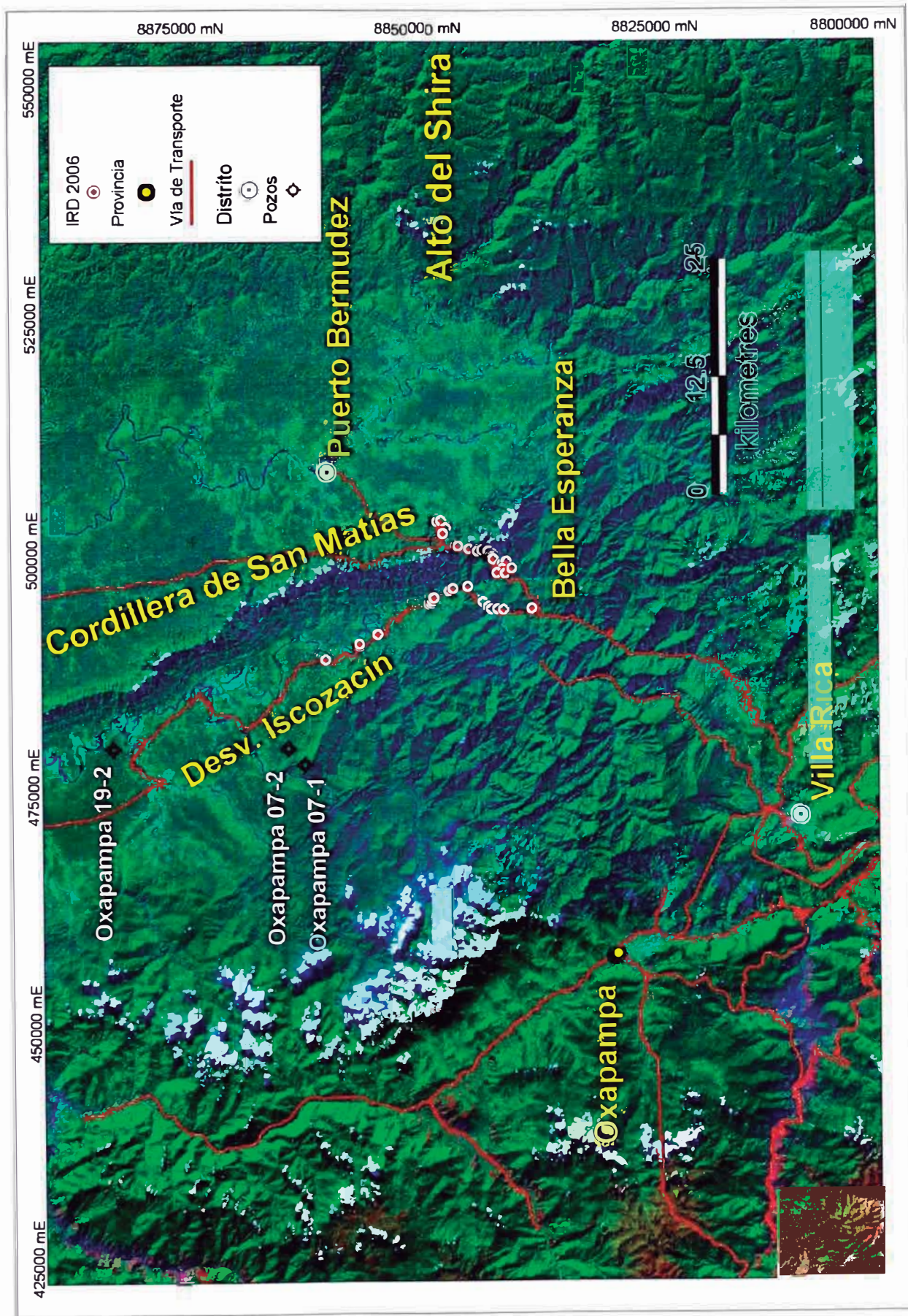


Figura -IV-1. Mapa satelital LANDSAT mostrando el trayecto de la campaña de campo hacia Puerto Bermúdez y los afloramientos estudiados.

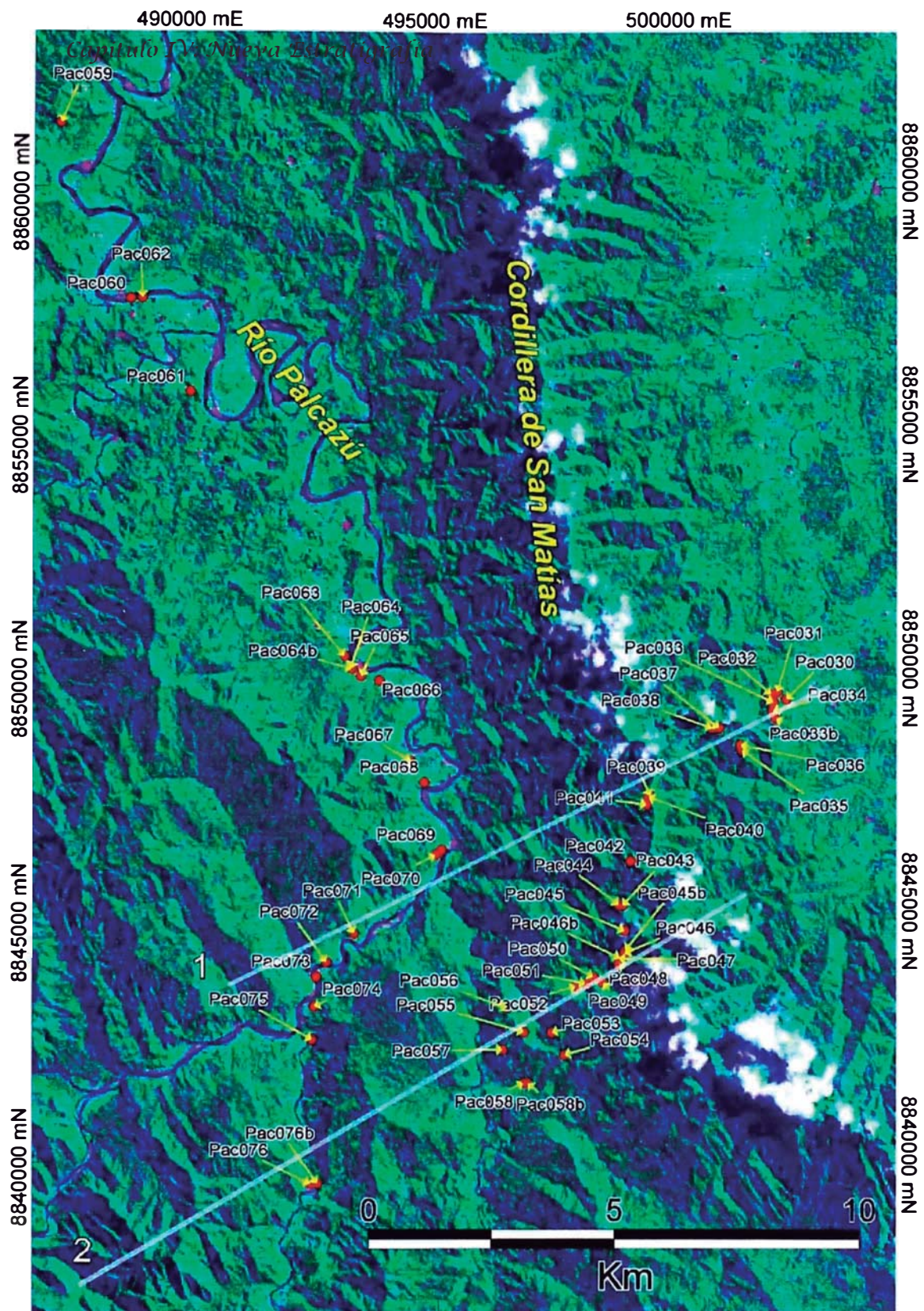


Figura IV-2. Mapa Satelital LandSat TM mostrando los puntos de la campaña de campo IRD 2006 y las secciones estructurales bases para la construcción de la sección estratigráfica

COLUMNA GENERALIZADA : SAN MATIAS

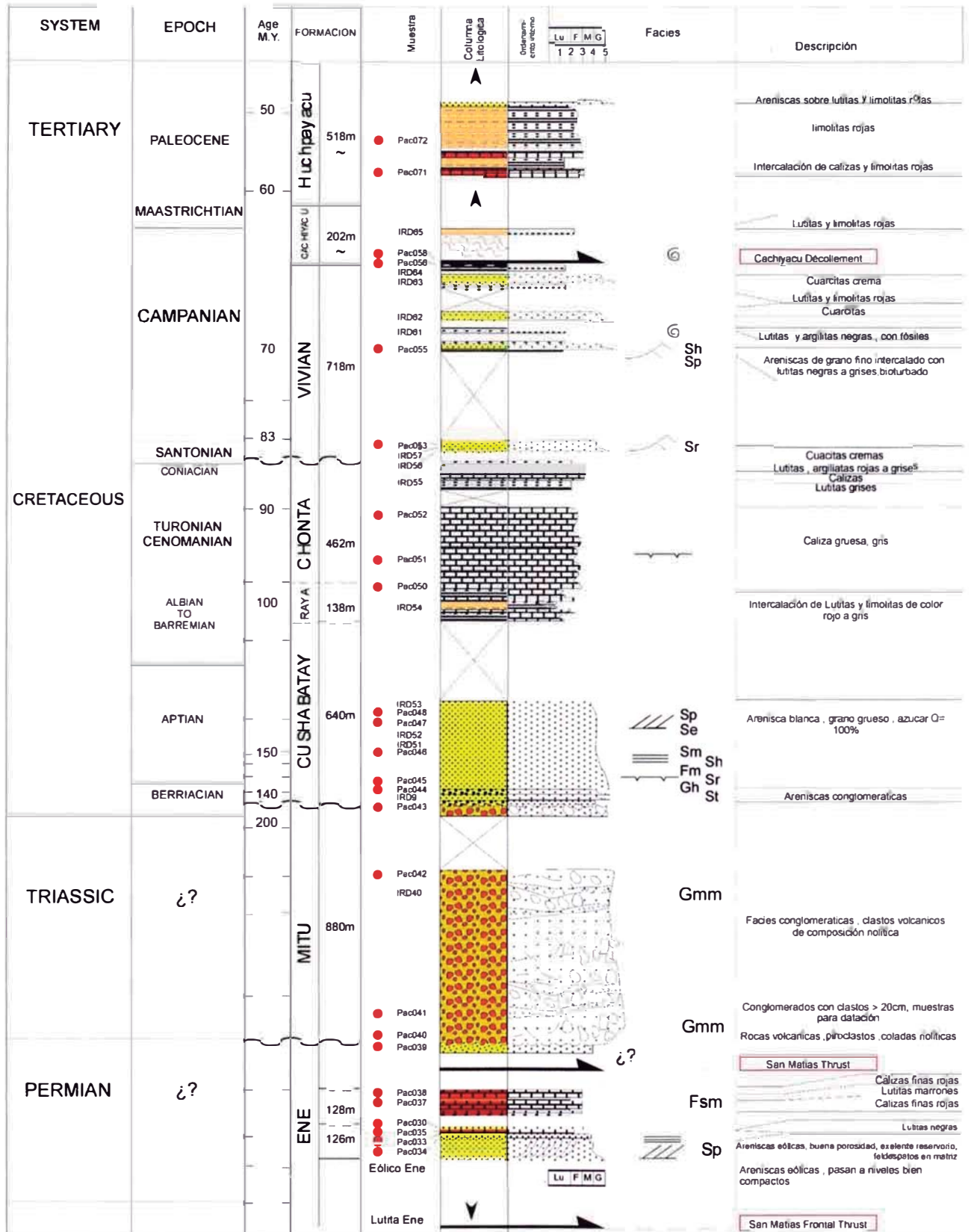


Figura IV-3. Columna estratigráfica levantada con datos de la campaña de campo IRD 1995-2006 (ver Figura IV-2) donde se observa la Formación Ene y Mítú, causa de diversas confusiones.

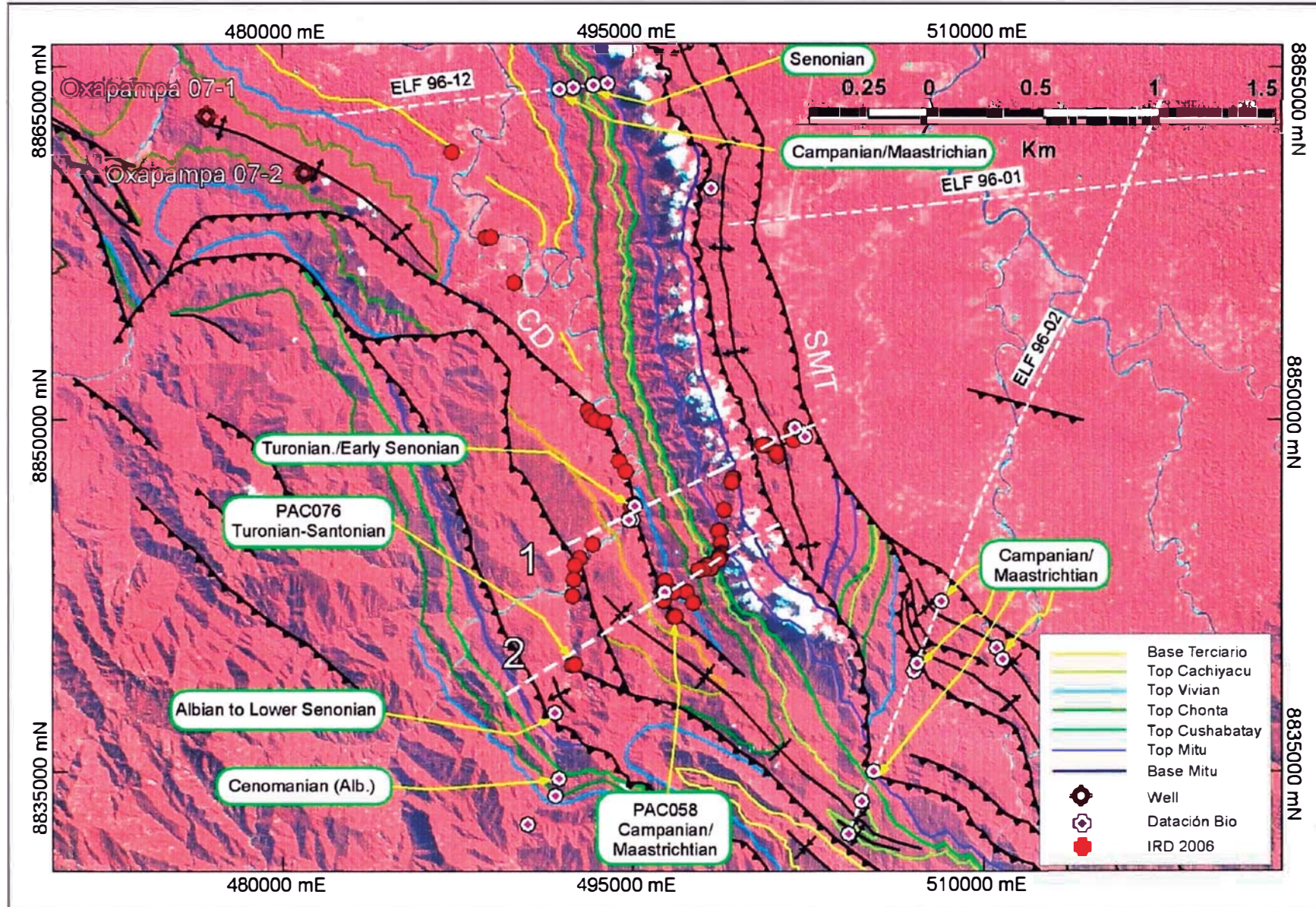


Figura IV-4. Imagen satelital LandSat TM RGB bandas (4, 3, 2), muestra los afloramientos “mapeados”, las dataciones bioestratigráfica y las secciones estructurales. SMT: corrimiento San Matías, CD: Cachiyacu Décollement (corrimiento cachillacu).

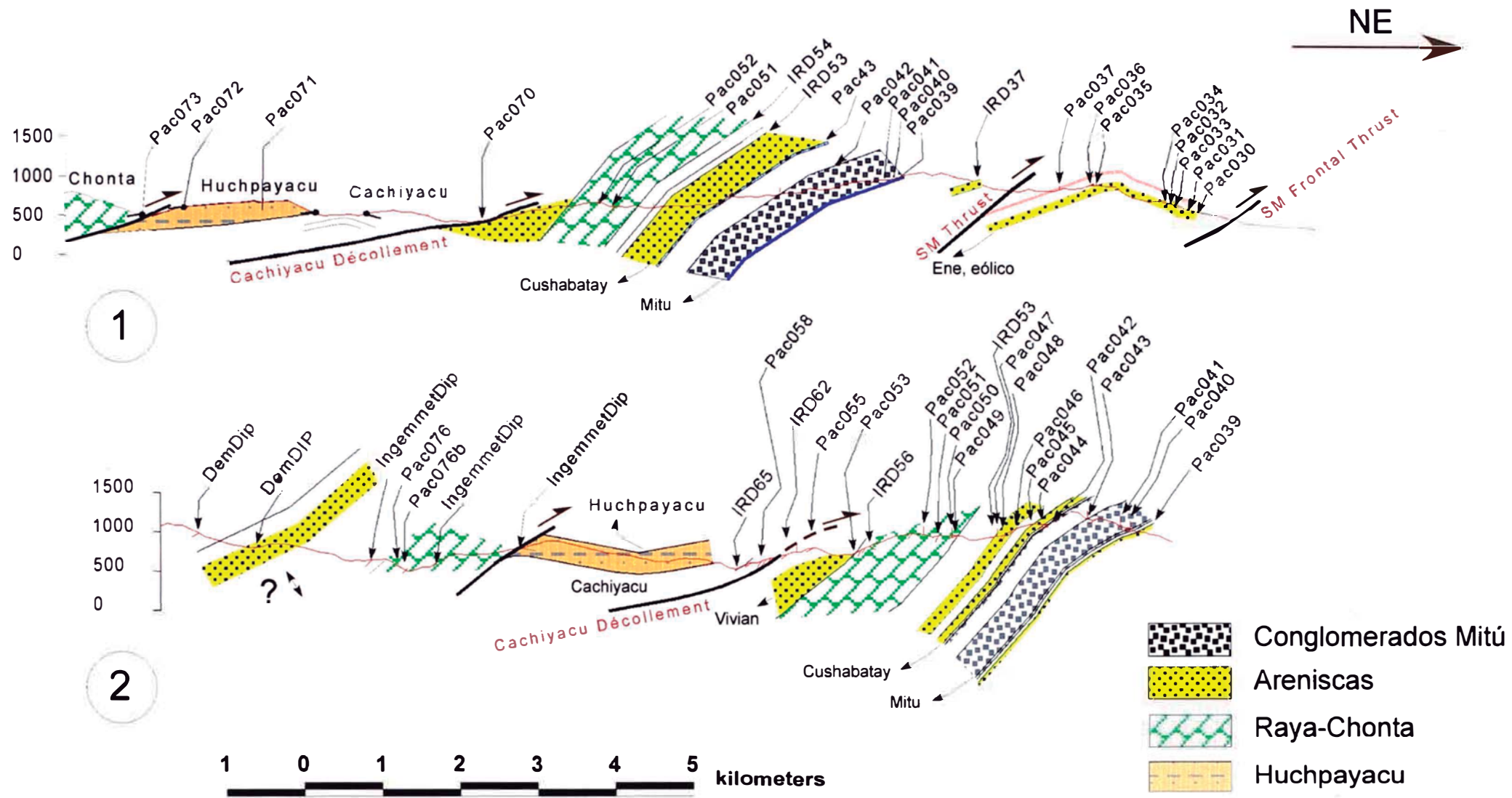


Figura IV-5. Cortes estructurales en los afloramientos de San Matías y su correspondencia con los puntos del IRD 2006-1995.

4.2.1.1 Pérmico Inferior

Las secuencias del Pérmico inferior en la Sub Cuenca Pachitea afloran en el flanco este de la cordillera de San Matías y representa un importante cuerpo arenoso. No obstante, al momento de diferenciar la formación se presenta problemas en la nomenclatura debido a que cuenta con diversos nombres en las localidades donde aflora ó donde es reportado por algún pozo. Siendo este abordado en el **acápite 4.5**

4.2.1.1.1 Formación Ene

Litofacies:

La base de esta formación no se ha podido determinar en nuestra expedición de campo (IRD 2006), pero la compilación de datos de la expedición del Dr. P. Baby (IRD1995) a través del punto IRD 47, cercano a la Quebrada Gavilán, muestra que esta tiene características de lutitas negras, con espesores todavía no confirmados.

En la parte media de la formación se encontraron intercalaciones de areniscas cuarcíticas duras masivas de color cremas a verde, de grano medio a fino. Los espesores de los bancos varían de 5 – 8 m, presentando facies de tipo SP, registrado con el punto: Pac034 (*Figura IV-3*). Seguidamente sobre esta arenisca masiva, se encuentran areniscas con estratificación cruzada de alto ángulo (*Foto -3*), con granos



Foto -1: Arenisca eólica cuarzosa de la Formación Ene, de granos finos, redondeados a semi-redondeados con puntos blancos dentro de la matriz intercalados con niveles negros (HC). Registrado en el tramo de la carretera de San Matías con el punto PAC033.

finos, redondeados y bien seleccionados presentando facetas, siendo característicos de depósitos eólicos. En la matriz se observan puntos blancos que podrían corresponder a niveles tobaceos (*Foto -1*). Un detalle importante de estas areniscas es la presencia de niveles negros dentro de la estratificación, que podrían corresponder a bitumen.

Niveles cercanos al tope de la formación, se presentan lutitas negras, en bancos delgados; seguidamente sobre estos, la presencia de caliza y lodolitas de colores rojo a marrón con espesores que varían de 1 a 2 m de potencia y con facies tipo **Fsm**, atribuyéndole según la nomenclatura moderna de la región Camisea, como Nia Inf. Finalmente toda esta formación fue registrada con los puntos: Pac030, 031, 032, 033, 034, 035, 036, 037, 038, 039,040 y Pac041 (*Figura IV-3*).

Espesor:

Según datos de campo correspondiente a la elaboración de la columna estratigráfica se estima aproximadamente 250 m, mostrándose en su mayor potencia en el punto PAC034, (*Foto -2*).

Medio de depósito:

Las areniscas presentan laminaciones oblicuas de alto ángulo, granos redondeados bien seleccionados y facetas eólicas, que muestran un ambiente eólico (*Foto -3*). Seguidamente pasan a lutitas negras intercaladas con calizas y lodolitas rojas a amarrones de facies limosas arcillosas **Fsm**, masivas correspondiendo a un medio sub tidal de baja energía a lagunar.

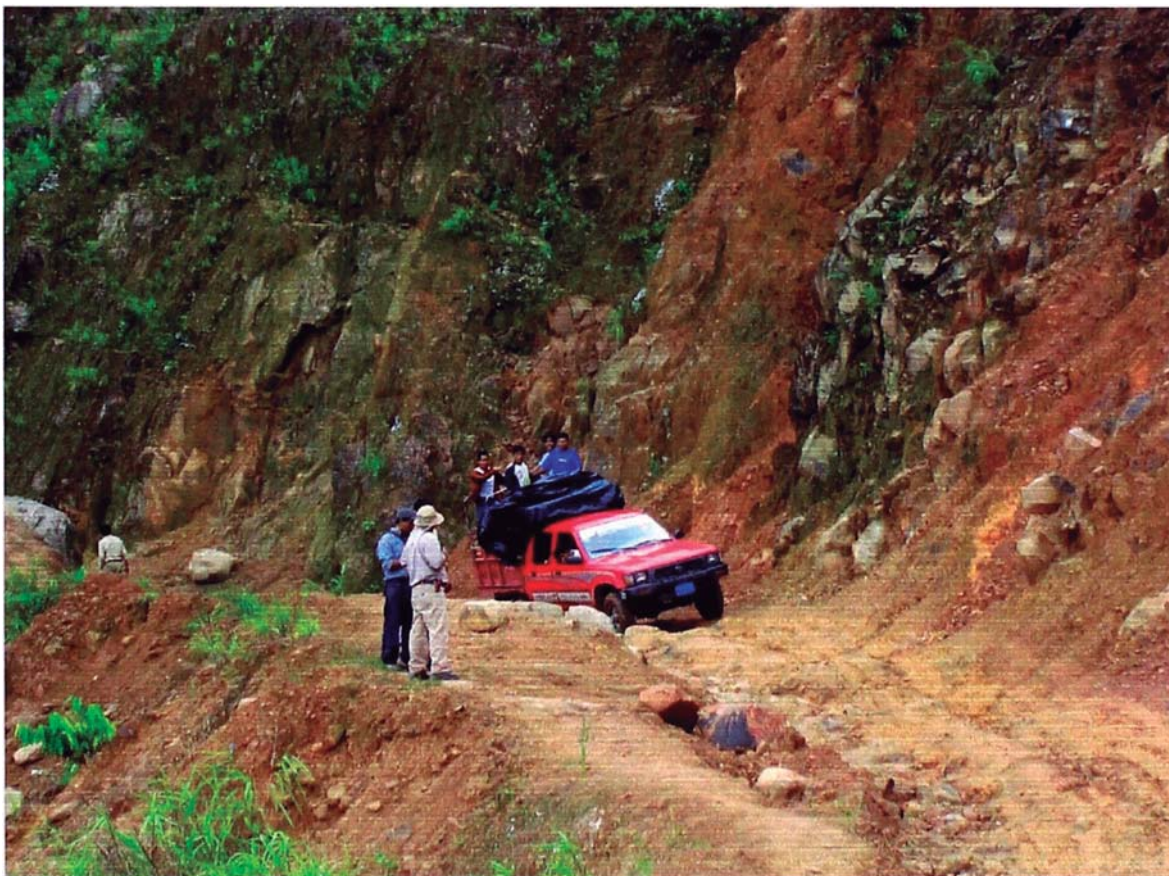


Foto -2. Areniscas masivas eólicas en el tramo de la carretera a San Matías, punto PAC034.



Foto -3. Muestra las estratificaciones oblicuas de alto ángulo en las areniscas eólicas del tramo de la carretera a San Matías, registrado en el punto: PAC035.

4.2.1.2 Permo – Triásico

El Permo-Triásico es caracterizado por las unidades sedimentarias y volcánicas del grupo Mitú (McLaughlin, 1924; Newell et al., 1949; en Gil, 2001). Este grupo se distribuye en afloramientos como en pozos en el subandino, con similar orientación a la cordillera oriental, NW-SE (Dalmayrac et al., 1988). En la Cuenca Ucayali, la sísmica presenta horizontes reflectores que pondría en evidencia su presencia (ver **Cap. III, Tectónica Regional**)

En la cuenca Pachitea, según nuestros datos de campo (IRD2006) y los compilados (IRD1995), se presentan como conglomerados volcánicos de composición ácida, riolítica, con estructuras de flujo propios de ambientes volcánicos. El pozo Oxapampa 7-1 que reporta conglomerados de la misma composición, el cual no atraviesa toda la secuencia (**Figura IV-7**), es la base para poder correlacionar con los afloramientos de San Matías. Siendo este, el único pozo en la cuenca Pachitea que confirma la presencia del grupo Mitú.

Correlaciones estratigráficas realizadas en el presente trabajo, entre los pozo Oxapamampa 7-1, Oxapampa 19-1 y Oxapampa 17C-1 (**Figura IV-13**) muestran que el grupo Mitú desaparece al este. Así mismo correlaciones de las secciones sísmicas de ELF (**Figura IV-13**) muestran que se bisela al este, en dirección del alto del Shira. Al norte de la cuenca, en la sección sísmica G35-613N y S, no se observa la presencia del grupo Mitú, probablemente esta ausente en parte de la cuenca Ucayali.

4.2.1.2.1 Grupo Mitú

Edad:

El Grupo Mitú en San Matías no presenta fósiles que permitan determinar su edad absoluta, pero a nivel del pozo Oxapampa 7-1. PETROPERU realizó análisis de palinología de un total de 04 muestras que lo ubica dentro del rango del Pérmico-Triásico superior.

Litofacies:

Mc LAUGLIN, D (1924) describió por primera vez al Grupo Mitú en el Perú central como una secuencia constituida por molazas continentales de color rojo violeta y la denominó Grupo Mitú. En esta se distinguen dos facies características, las cuales están asociadas: la primera es de facies sedimentaria y la segunda de facies volcánica. (Marocco, R. 1978).

En la cordillera de San Matías, trabajos anteriores de INGMMET han descrito a estas facies fluvio-conglomeráticas como Formación Sarayaquillo. Por el contrario, de acuerdo a los nuevos datos obtenidos en la campaña de campo (IRD2006) nos lleva a proponer la presencia del grupo Mitú. Caracterizando esta, por series conglomeráticas fluviales de facies **Gmm**, de colores rojo, marrón y violeta, envueltos en una matriz arcillosa rojiza (*Foto -4, Foto -6*). Los clastos están compuestos de coladas de lava de composición ácida, riolíticas (*Foto -5*) presentando estructuras amigdaloides y de flujo propio de ambientes volcánicos. Además, se encuentran niveles tobáceos, a manera de puntos blancos dentro de la matriz. Siendo este grupo registrados con los puntos: Pac039, Pac040, Pac041, Pac042.



Foto -4: Conglomerado del Grupo Mitú donde se observa los tamaños de los clastos, de guijarros a cantos y la escala de estos, registrado en el tramo de la carretera a San Matías con el punto: PAC042.



Foto -5: Clasto perteneciente al conglomerados del Grupo Mitú presentando franjas rosadas (Feldespatos potásicos) y estructuras de flujo, coladas de lava.



Foto -6. Conglomerado del Grupo Mitú con clastos de guijarros a cantos de riolita, redondeados, de mediana a alta esfericidad, con matriz de limos y arenas; y estructuras tipo Debris Flow. Reportado en la carretera a San Matías con el punto: PAC043.

Espesor:

El espesor del grupo Mitú de acuerdo a los datos de campo y la columna estratigráfica levantada, se estima 880m.

Medio de depósito:

Basados en el análisis de litofacies, el Grupo Mitú está caracterizado por conglomerados masivos, envueltos en matriz arcillosa y de facies tipo **Gmm** presentan un medio de depósito fluvial con flujo de detritos de gran energía.

4.2.1.3 Jurásico

El Jurásico es caracterizado por la formación Sarayaquillo, siendo esta ausente en los afloramientos de San Matías y a la vez confundida en los trabajos de INGEMMET correspondiente a las cartas geológicas 21M y 21N; las cuales pertenecen a los afloramientos del Grupo Mitú descrito anteriormente. Es únicamente a nivel de Puente Paucartambo donde se le atribuyen los conglomerados de la formación Sarayaquillo (Jaillard, 1996). No obstante, en el Pozo Oxapampa 19-1 y 19-2 (**Figura IV-9, Figura IV-10**) información de registros de pozos evidencian conglomerados rojizos semejantes a los afloramientos del boquerón del Padre Abad con niveles de anhidrita (reg. pozo Oxapampa 19-1) atribuyéndoles formación Sarayaquillo. Sin embargo según correlación de pozos (**Figura IV-13**) correspondería a niveles cercanos al grupo Mitú, siendo este difícil de precisar debido a que no atraviesan toda la formación, no afloran a nivel de la cuenca y los registros litológicos no son detallados.

4.2.1.4 Cretácico

El Cretácico en la Sub. Cuenca Pachitea es representado por las formaciones Cushabatay, Raya, Chonta, Vivian y Cachiyacu. Estas secuencias han sido registradas por la mayoría de pozos exploratorios en la cuenca Ucayali y Pachitea. En los pozos Oxapampa 7-1, Oxapampa 19-1 y Oxapampa 17C-1 se preserva la secuencia cretácica; hacia el este, aflora en el flanco occidental del San Matías, como también en la sísmica permite seguirlas hasta los contrafuertes occidentales del Shira.

4.2.1.4.1 Formación Cushabatay**Edad:**

Estudios palinológicos por PETROPERU (CALDAS, et. al. 1985) lo sitúan dentro del Berriasiano y el Albiano temprano

Litofacies:

Descrito por primera vez por KUMMEL, B (1946) quien lo denominó "Formación Oriente", está compuesta por una secuencia de areniscas. Este grupo fue dividido en 07 miembros, algunos de los cuales lo elevaron a la categoría de grupo, según Zegarra J. y Olaeche J. (1970).

En la Cordillera de San Matías, la Formación Cushabatay marca la morfología con sus potentes bancos arenosos masivos (**Foto-8**). Está caracterizada en la base por

areniscas cuarzosa de granos fino a grueso, sub-redondeados y sub-angulosos, de esfericidad moderada en contacto flotante entre granos, poco sementada, de color gris a crema presentando estructuras con rizaduras (ripples). Las facies son de tipo **St**, **Sr**, pasando a niveles de microconglomerados de facies **Gh** (**Foto -7**).

Finalmente al tope, presenta grietas de desecación siguiendo con niveles de areniscas conglomeraticas con laminaciones paralelas, sus facies son **Sp** y **Se**. Los puntos que registran la formación son: Pac043, 044, 045, 046, 047 y Pac048



Foto -7: Arenisca cuarzosa de la Formación Cushabatay presentando facies conglomeraticas y microconglomeraticas. El tamaño de grano es fino a medio con escaso cemento, reportado en el tramo de la carretera a San Matías con el punto: PAC048.

Espesor:

De acuerdo a los datos de campo y el posterior levantamiento de la columna estratigráfica, se estima 370- 640 m de potencia.

Medio de depósito:

De acuerdo a los análisis de litofacies, la Formación Cushabatay esta compuesta por dos partes. La parte inferior está constituida por elementos arquitecturales CH (asociación **St**, **Gh**, **Sr**, **Fm**) estos elementos arquitecturales son interpretados como depósitos de barras y rellenos de canal pertenecientes a un sistema fluvial. La parte superior está constituida por elementos arquitecturales CH (**Sh**, **Sm**, **Se**, **Sp**) y SB (**Sh**, **Se**, **Sp**) de areniscas cuarzosas microconglomeraticas, interpretados como depósitos de rellenos de canales y barras dentro de un sistema fluvial entrelazado y lagunas de fondo bajo, las laminaciones oblicuas indican un ambiente litoral.



Foto-8. Areniscas de la Fm. Cushabatay, carretera a San Matías. Vista hacia el NE mostrando los potentes bancos de areniscas. Los estratos buzan al SW, siendo registrado con el punto: PAC041.



Foto -9. Calizas finas gris oscuro de la Fm. Chonta, reportado en el punto de afloramiento PAC052.

4.2.1.4.2 Raya y Chonta

Debido a la falta de buenos afloramientos, no ha sido posible encontrar el límite entre las dos formaciones. Se observó sucesivamente afloramientos de limonitas rojas, de calizas gruesas y de calizas finas gris oscuro (*Foto -9*), se estimó de manera general mediante el tratamiento de imágenes satelital este límite (*Figura IV-4*).

Según la campaña de campo de Occidental (OXI, 2003, pp. 43) en el área de San Matías, describen “.. secuencia rojiza de sedimentos finos y clásticos, en la cual es difícil identificar las formaciones Cushabatay, Raya y Agua Caliente.”

En la porción norte de la cuenca Pachitea, en el Boquerón del Padre Abad, el límite entre las formaciones Chonta y Agua Caliente fue datado del Cenomaniano Superior (Gil, 2001:pp31). En el pozo Oxapampa 7-1 (*Figura IV-7*), este límite es considerado del Turoniano-Coniaciano (Muller, 1982).

4.2.1.4.3 Vivian

Los afloramientos de la Fm. Vivian son también escasos. Se componen de areniscas de ambiente marino litoral, que van de areniscas cuarzosas (tipo azúcar, buen reservorio) a areniscas finas con rizaduras (tidalitas, *Foto -10*). De la misma manera que la Formación Raya y Chonta, sus límites fueron estimados mediante el tratamiento de imágenes satelitales (*Figura IV-4*).

4.2.1.4.4 Cachiyacu

Edad:

Se le asigna una edad Maestrichiano a Cretáceo Superior “Por posición estratigráfica y correlación regional es de edad Maestrichtiano Inferior.” (Oxy, 2003, pp.57). En los afloramientos de San Matías Una nueva datación bioestratigráfica obtenida por Pluspetrol a partir de una muestra del afloramiento PAC058, que presenta abundantes brachiopodes (*Foto -12*), da una edad Campaniano-Maastrichtiano. Esas dataciones muestran que las lutitas negras muy deformadas corresponden a la Fm. Cachiyacu.

Datación PAC058 (Pluspetrol, 2006); Palinología:

Miosporas, Deltoidospora sp., Todisporites sp., Dinoflagelados

Andahusiella sp., Senegalinium gramlostriatum (Jain y Millepied 1973),

Senegalinium sp. cf. S. bicavatum Jain y (Millepied 1973), Senegalinium

sp., Sentusidinium sp?, Spinidium sp., Spiniferites sp.,

Chlorococcales, Pediastrum sp., Microforaminíferos

Edad: Campaniano/Maastrichtiano

Litofacies:

La Fm. Cachiyacu está definida en el norte de la cuenca Ucayali (Kummel, 1948), como lutitas oscuras, limos margosos y limos con fósiles de ambiente somero.

En la Sub-Cuenca Pachitea, Cordillera de San Matías esta formación presenta lutitas negras muy deformadas, siendo registradas con las muestras PAC058 y PAC070 (*Foto-11*) constituyen un nivel de despegue regional bien puesto en evidencia en la imagen satelital (*Figura IV-4*) y las secciones estructurales de campo (*Figura IV-5*).

Espesor:

Según nuestros datos de campo pertenecientes a los puntos Pac56, Pac058 y IRD65 se estima 202m aproximadamente. (*Figura IV-3*)

4.2.1.5 Terciario Inferior.

Las secuencias que representan al Terciario inferior en la Cuenca Pachitea corresponden a la formación Huchpayacu. Esta se extiende a lo largo de los corrimientos de San Matías y de Bella Esperanza (*Figura IV-3, Figura IV-4*) diferenciándose en el sinclinal cerca al desvío de Izcosacín-Bella Esperanza y registrada en los cortes estructurales 1 y 2 de la *Figura IV-4*. Estas parecen descansar sobre la formación Cachiyacu, siendo difícil observar sus contactos. En la zona de Paucartambo, una serie sedimentaria análoga aflora a lo largo de la carretera de Purus según (Jaillard, 1996)

4.2.1.5.1 Huchpayacu

La Fm. Huchpayacu corresponde a una serie sedimentaria de lutitas limosas, limos calcáreos rojos, grises y violetas (Kummel, 1948). Identificamos esta serie encima del Décollement de Cachiyacu donde forma un sinclinal (*Figura IV-4*). Se considera la Fm. Huchpayacu como del Paleoceno inferior (Gil, 2002). Esta formación es compuesta por intercalaciones de calizas, limonitas y lutitas rojas a grises. Registrado por los puntos PAC071 y PAC072 (*Foto -13*).

4.2.1.5.2 Yahuarango (Huayabamba)

Constituye la secuencia de capas rojas que descansa sobre las rocas cretácicas. En la cuenca Marañón y Ucayali esta formación toma el nombre de Yahuarango mientras que en la Cuenca Madre de Dios toma el nombre de Formación Huayabamba, siendo asumida esta última en las descripciones del Ingenmet en los cuadrangulos de Aguaytia Pano y Pozuzo. Williams (1949), describe a esta como una secuencia de lodolitas abigarradas, limonitas y areniscas con contenido de carofitas, ostrácodos, moluscos, etc. En la zona de estudio se tienen una litología similar, reportado por los pozos oxapampa 19-1 y 2.

En la Sub. Cuenca Pachitea la formación Yahuarango regionalmente descansa sobre la Formación Vivian (pozos Oxapampa 19-1 y 19-2), sin embargo, en campo no se ha podido determinar. En las secciones sísmicas también se observa el comportamiento regional (Elf 96-01,02 y 12) presentando un continuo horizonte sísmico que permite diferenciar el paso del cretácico al terciario.

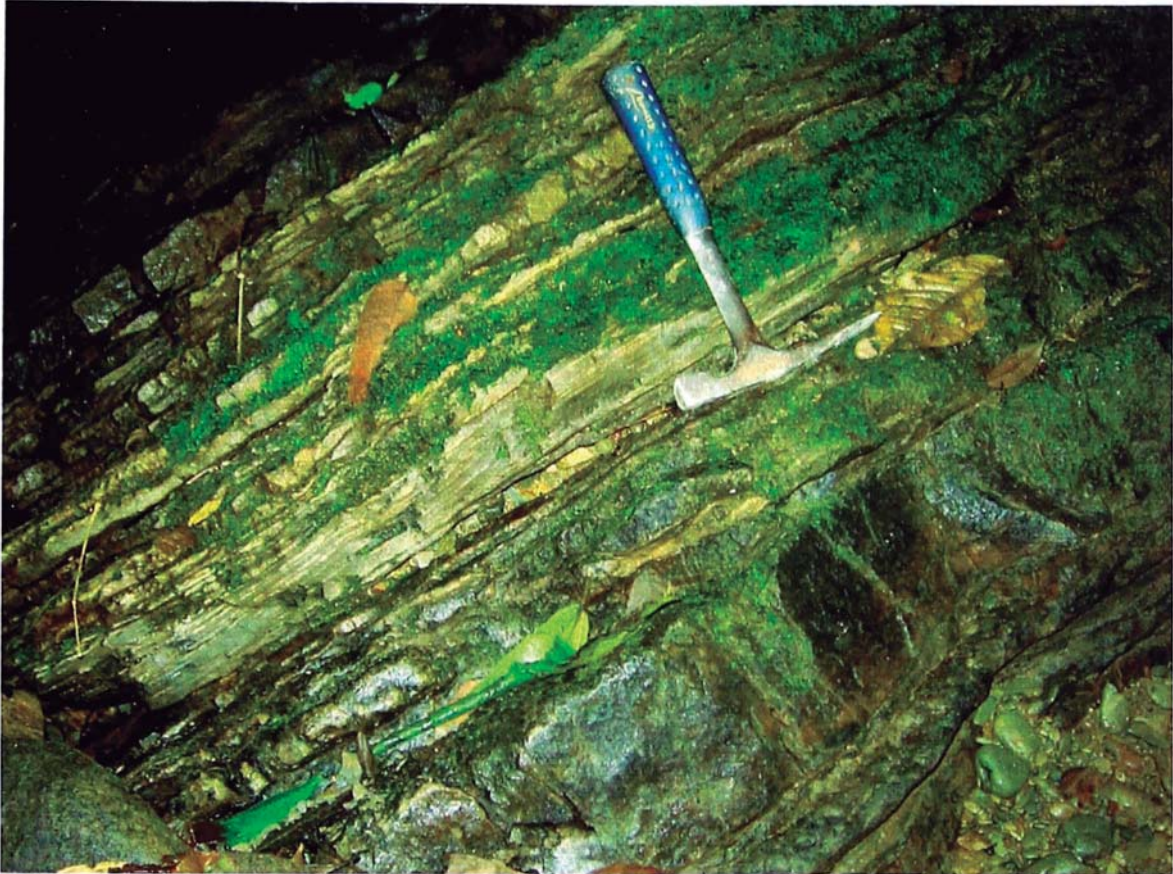


Foto -10. Areniscas cuarzosas finas y compactas con rizaduras de la Fm. Vivian, registrado en con el punto: PAC054, cercano al poblado de Bella esperanza, carretera a San Matías.



Foto-11. Lutitas negras deformadas de la Fm. Cachiyacu, registrada en la carretera a Iscozacín con el punto: PAC070. Vista en la margen izquierda del Río Palcazú.



Foto -12. Lutitas negras con fragmentos de fósiles de braquiópodos, datada por palinología del Campaniano-Maastrichtiano y registrada con en el punto: PAC058. Cerca de Bella Esperanza.



Foto -13. Formación Huchpayacu, registrado con el punto: PAC071. Carretera a Izcosazín.

4.2.2 Compilación de datos ELF, OXY y PANENERGY

La compilación de datos ELF, OXY y PANENERGY es fruto de la investigación bibliográfica en el banco de datos de PERUPETRO, con énfasis en las campañas de exploración de ELF (1999), PANENERGY (1999) y OCCIDENTAL (2003), que fueron realizadas en las quebradas y caminos que circundan a la Sub. Cuenca Pachitea.

Esta información geológica ha sido compilada, georeferenciada e integradas a una base de datos SIG, permitiendo seguir la secuencia sedimentarias en los tramos norte y sur de San Matías (*Figura -IV-6*). Para el caso de ELF, la información geológica fue obtenida de los levantamientos geológicos del trazado de la línea sísmica (trazas shotpoints).

Finalmente en base a esta información y en conjunto con las imágenes satelitales y DEM se logro realizar un mapeo geológico de todos los afloramientos cercanos a la zona de estudio, logrando obtener una buena base de datos geológica y geográfica, que sirvió como soporte para la elaboración del mapa geológico y cortes estructurales propuestos en los capítulos anteriores. Todo esto dentro de un entorno de trabajo SIG.

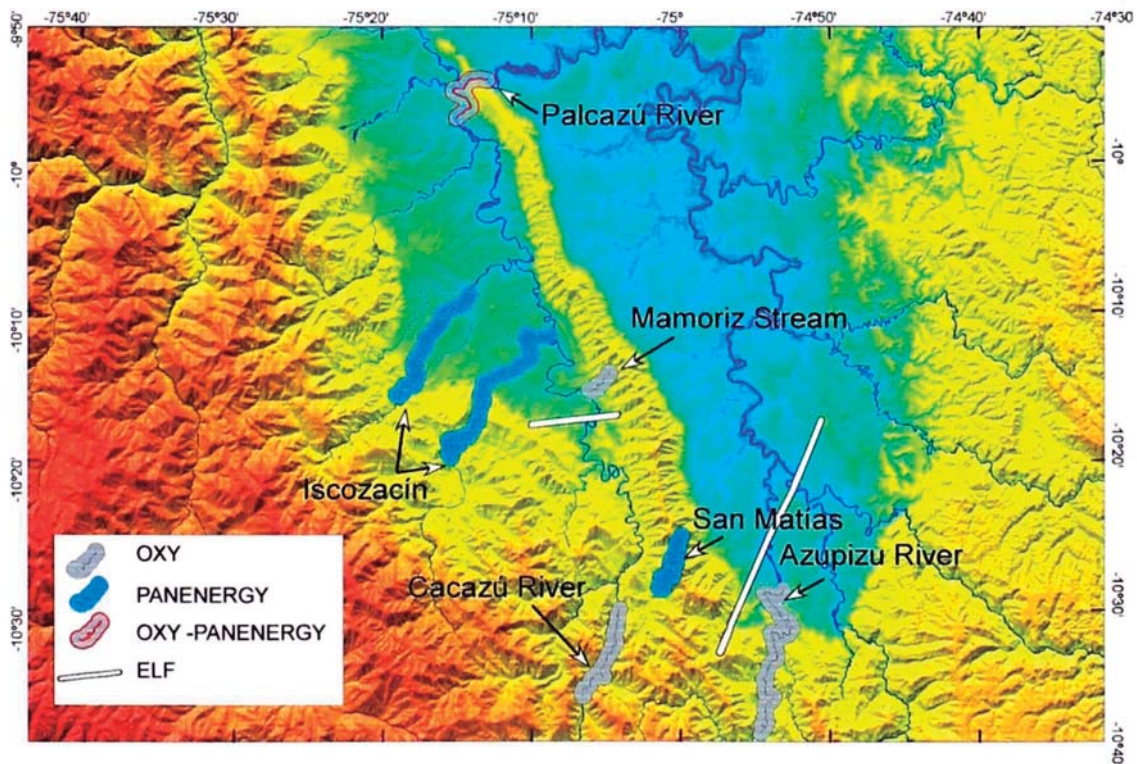


Figura -IV-6. DEM (Digital Elevatin Model, Nasa) mostrando la información geológica con atributos geográficos, compilados en las campañas de campo de las compañías ELF, OXY y PANENERGY.

4.3 Interpretación de registros de pozos

4.3.1 Antecedentes

CERROPET (Cerro de Pasco Petroleum) en los años 1961 perfora el pozo Oxapampa 7-1 en el anticlinal de Izcosacín (*Figura IV-12*) alcanzando los 3151m y llegando a ser de esta manera, el pozo más profundo registrado en la cuenca. En el mismo año se perfora el Pozo Oxapampa 7-2 alcanzando los 1207m de profundidad, siguiendo este el mismo eje de anticlinal del primer pozo. En el año 1964 se perfora el pozo Oxapampa 19-1, al norte de los pozos anteriores y en el centro de la cuenca limitada entre la cordillera de San Matías y La Cordillera Oriental, anticlinal Lagarto (*Figura IV-12*); alcanzando los 2055m. Al siguiente año, 1965, se decide incursionar más al este, perforando el pozo Oxapampa 19-2, cerca al flanco occidental de la Cordillera de San Matías alcanzando los 1478m. Finalmente ese mismo año, se perfora el pozo Oxapampa 17C-1 (*Tabla -1, Tabla -2*) en la terminación norte del corrimiento de San Matías alcanzando apenas los 690.4m de profundidad, contando solo con registro litológico. En la actualidad no se han perforado más pozos de los que CERROPET ha realizado.

Uno de los problemas encontrados comúnmente en los pozos es respecto al DATUM. Esto es común en pozos antiguos, debido principalmente a que los sistemas de proyección geográfica en tales años no estaban desarrollados como en la actualidad. Los puntos de control eran escasos y el traslado de dichos puntos mediante poligonales costaban tiempo y dinero; en segundo lugar, estos puntos levantados por las compañías operadoras y posteriormente por PETROPERU eran considerados puntos de control de 3ª o 4ª orden (Termino relacionado al grado de precisión e importancia de los puntos geodésicos). En consecuencia su documentación no siempre era precisa. Finalmente las coordenadas de dichos pozos siempre se expresaban en coordenadas relativas, dejando una interrogante del punto de control. Sobre esta base PERUPETRO cuenta con algunos puntos de control de los cuales en la CUENCA PACHITEA no se ha registrado, siendo estos resueltos por las compañías que posteriormente se interesarían en la zona.

Recientemente diversas compañías como PANENERGY (1999), ELF (1999), OXIDENTAL (2003) y PETROLIFERA (2005- actualidad) han explorado la zona de PACHITEA; en especial ELF y PANENERGY con trabajos adicionales en el Pozo OXAPAMPA 7-1 y OXAPAMPA 19-1 respectivamente. Estas cuentan con información de registros eléctricos y valores geoquímicos (cuadro resumen *Tabla -1, Tabla -2*).

| Pozo | X (UTM- m) | Y (UTM- m) | Año | Empresa | Profundidad (m) |
|-----------------------|------------|------------|------|----------|-----------------|
| OXAPAMPA 17C-1 | 476480.8 | 8902488.5 | 1965 | Cerropet | 690.4 |
| OXAPAMPA 7-1 | 476171.5 | 8862961.3 | 1961 | Cerropet | 3151 |
| OXAPAMPA 7-2 | 477874.3 | 8864712.7 | 1961 | Cerropet | 1207 |
| OXAPAMPA 19-1 | 473684.7 | 8883750.3 | 1964 | Cerropet | 2055 |
| OXAPAMPA 19-2 | 477862.9 | 8883140.6 | 1965 | Cerropet | 1478 |

Tabla -1. Relación de Pozos por año de perforación, empresa, coordenadas (WGS 84) y la profundidad que alcanzo en la perforación.

| | Año | SP | DT | SN | LN | LLD | GR | CALI | LITOLÓGICO |
|-----------------------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| OXAPAMPA 17C-1 | 1965 | | | | | | | | X |
| OXAPAMPA 7-1 | 1961 | X | X | X | X | X | X | X | X |
| OXAPAMPA 7-2 | 1967 | X | | X | X | | | | X |
| OXAPAMPA 19-1 | 1964 | X | | X | X | | | | X |
| OXAPAMPA 19-2 | 1965 | X | | X | X | | | | X |

Tabla -2. Relación de pozos con sus respectivos registros, notar que en el pozo Oxapampa 17C-1 solo cuenta con registro litológico.

4.3.2 Interpretaciones

Tomaremos como referencia el pozo Oxapampa 7-1 debido a que cubre la mayor parte de las secuencias de la cuenca, siendo este el más estudiado por las campañas ELF y PETROPERU.

Este pozo ubicado en el anticlinal de Iscozacín (*Figura IV-12*) cubre desde las capas cretácicas del Chonta hasta secuencias pérmicas del Mitú, sumando una profundidad de 3151m. En la base del pozo, según los reportes de CERROPET en PETROPERU confirman la presencia del Grupo Mitú, basándose este en análisis por palinología de un total de 04 muestras a las profundidades: 9410, 9550, 9590 y 9700 pies y con un espesor de 333m (inf. de pozo Cerropet en PETROPERU). El pozo no llega hasta a la base del Grupo Mitú, sin embargo, estas secuencias de conglomerados riolíticos con matriz tobacea, tienen las mismas características de los afloramientos de San Matías que cuenta con 900 m de espesor aproximadamente (*Figura IV-3*) siendo este el único pozo confirmado que atraviesa esta unidad (*Figura IV-7*).

Sobreyaciendo, en discordancia encontramos secuencias calcáreas del grupo Pucara constituidas por 1930m de calizas, dolomitas y evaporizas (Anhidrita y Halita, más de 400m) con facies de mar somero. De la misma manera en Puente Paucartambo, el grupo pucara esta conformado por evaporizas y carbonatos asociados a basaltos y areniscas rojas (Mégard, 1979). Lateralmente se encuentran en los pozos Oxapampa 7-1, Oxapampa 19-1 y 19-2, más no, en el pozo Oxapampa 17C-1, el cual solo cuenta con registro litológico. La sísmica de la misma manera evidencia que se bisela hacia el este.

Las formación Sarayaquillo es ausente en la Cuenca Pachitea, tanto en superficie como en los pozos de Oxapampa. Solo a nivel de Puente Paucartambo se puede apreciar los verdaderos conglomerados, sin embargo los pozos Oxapampa 19-1 y 19-2 según sus registros litológicos estos atribuyen la presencia de la formación Sarayaquillo infrayaciendo a la Formación Cushabatay, describiendo someramente como conglomerados rojos con trazas de sal, formación boquerón. Por el contrario, estos se asemejan más a las secuencias conglomeráticas del Mitú, las cuales afloran en San Matías y es reportado por el pozo Oxapampa 7-1. Por consiguiente es más acertado pensar en las secuencias del Mitú infrayaciendo discordantemente a las del Cuchabatay que las del Sarayaquillo, que no se reporta en los pozos colindantes ni en superficie.

Descansa sobre las calizas del Pucara las secuencias clásticas de la formación Cushabatay con un espesor de 165m de areniscas blancas y grises, lateralmente la encontramos en los pozos Oxapampa 7-2, Oxapampa 19-1, 19-2 y en el pozo Oxapampa 17C-1, teniendo este último ciertas dudas por los problemas que tuvo en la perforación, pudiendo corresponder a las areniscas de agua caliente, además este último pozo esta en

el frente del corrimiento de San Matías y es muy probable que pasen fallas por las zonas donde no se encontró información; afirmamos esto basándonos en datos de campo de PANENERGY y OXIDENTAL (Río Palcazú, *Figura -IV-6*).

Seguidamente se encuentra la formación Raya- Iscosazín y Agua Caliente concordantemente, con una potencia de 384m y 30.5 respectivamente, la primera compuesta de limonitas rojas, rosadas, gris a verdes, calizas y argilitas; y la segunda de areniscas finas a medias. Lateralmente se encuentran en los pozos Oxapampa 7-1, Oxapampa 19-1 y 19-2 y probablemente en los pozos Oxapampa 17C-1 en las zonas sin información (*Figura IV-12*).

Finalmente culmina con la formación chonta con una potencia de 308m caracterizada por calizas en la base seguidas de intercalaciones de limolitas con areniscas y finalizando al tope con calizas (*Figura IV-7*). En el pozo Oxapampa 7-1 se encuentra aflorando la Formación Chonta así como en el pozo Oxapampa 17C-1, siguiendo esta lateralmente en los pozos Oxapampa 19-1,19-2 teniendo estas últimas una columna terciaria de espesores de 840 y 385m respectivamente. Si bien la formación chonta aflora en el anticlinal de Iscozacín como también el Río Palcazú, esta al este del corrimientos de San Matías, se encuentra cubierto por una gruesa capa terciaria, y llega a aflora en el alto del Shira. Todos los pozos en la cuenca Pachitea registran esta secuencia, así como en la cuenca Ucayali.ss

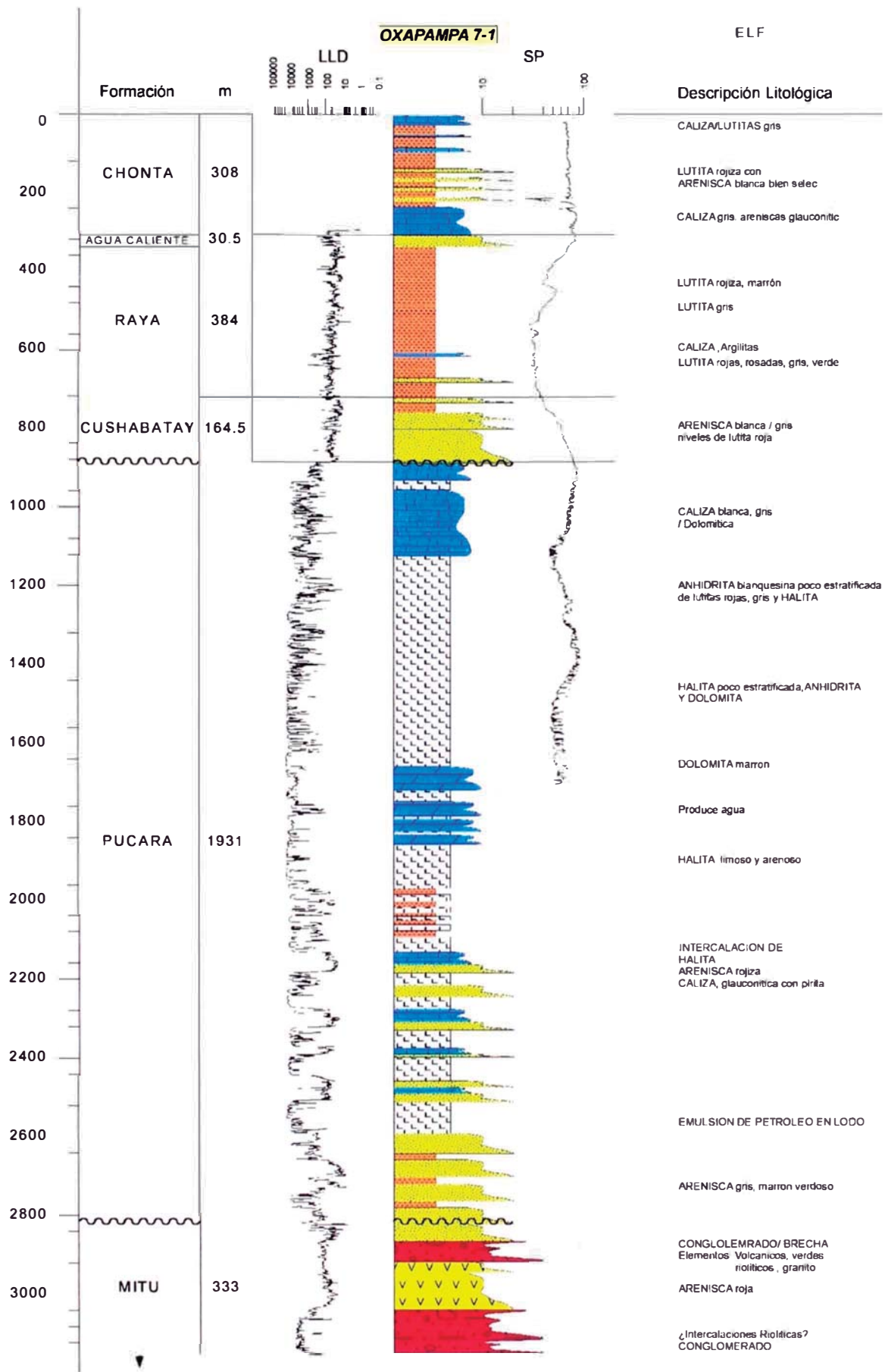


Figura IV-7. Oxapampa 7-1 (ELF modificado), donde se aprecian las principales formaciones estudiadas, las descripciones litológicas y los registros eléctricos. Ubicado en el anticlinal de Iscozacín, en el mapa de la Figura IV-12 .

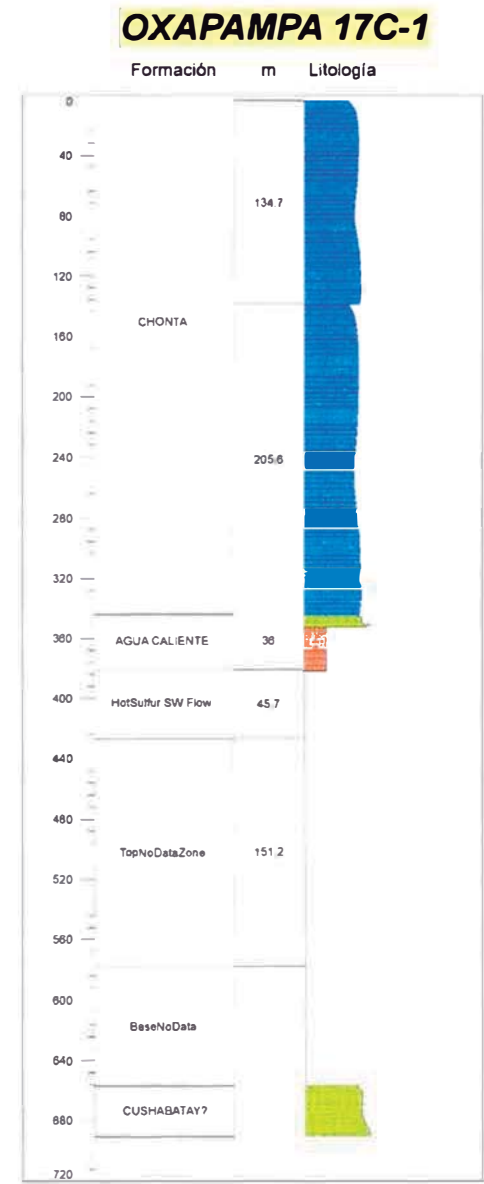
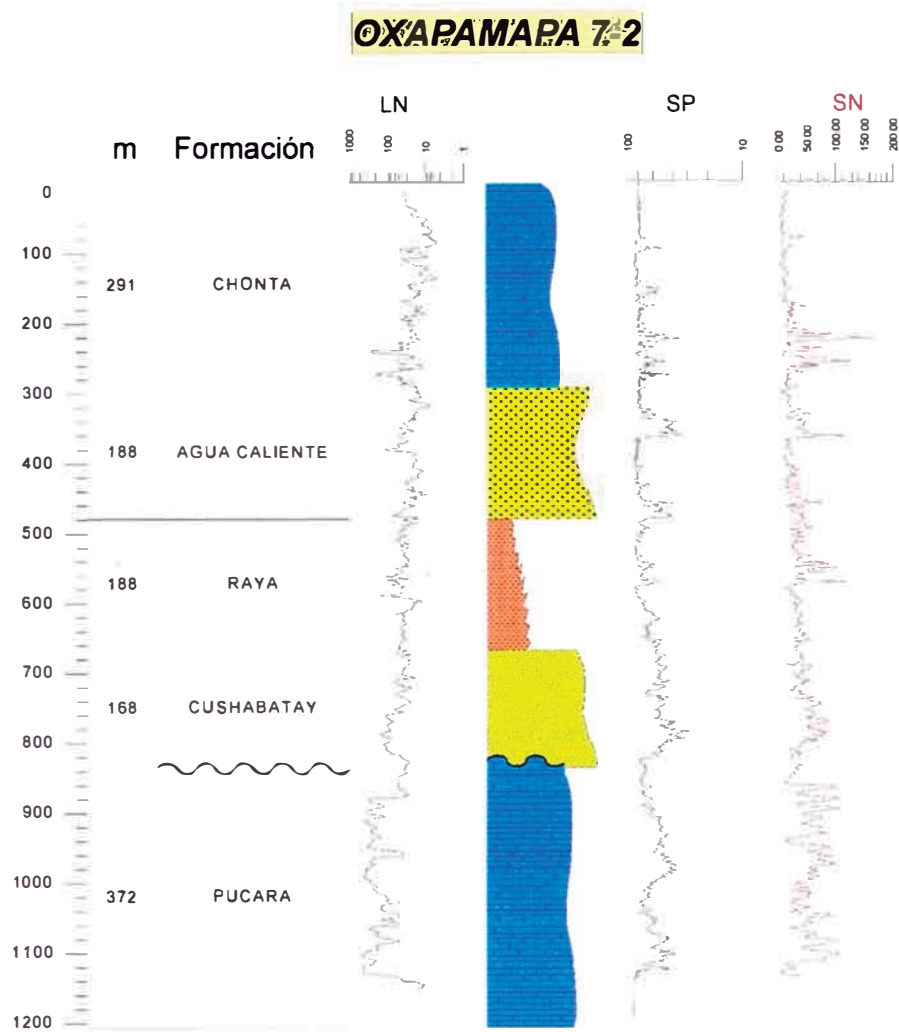


Figura IV-8. Pozos Oxapamapa 7-2 y 17C-1 el primero, en el eje del anticlinal Palcazú y el segundo en el extremo norte del anticlinal de San Matías; mostrando ambos los contactos formacionales (Figura IV-12).

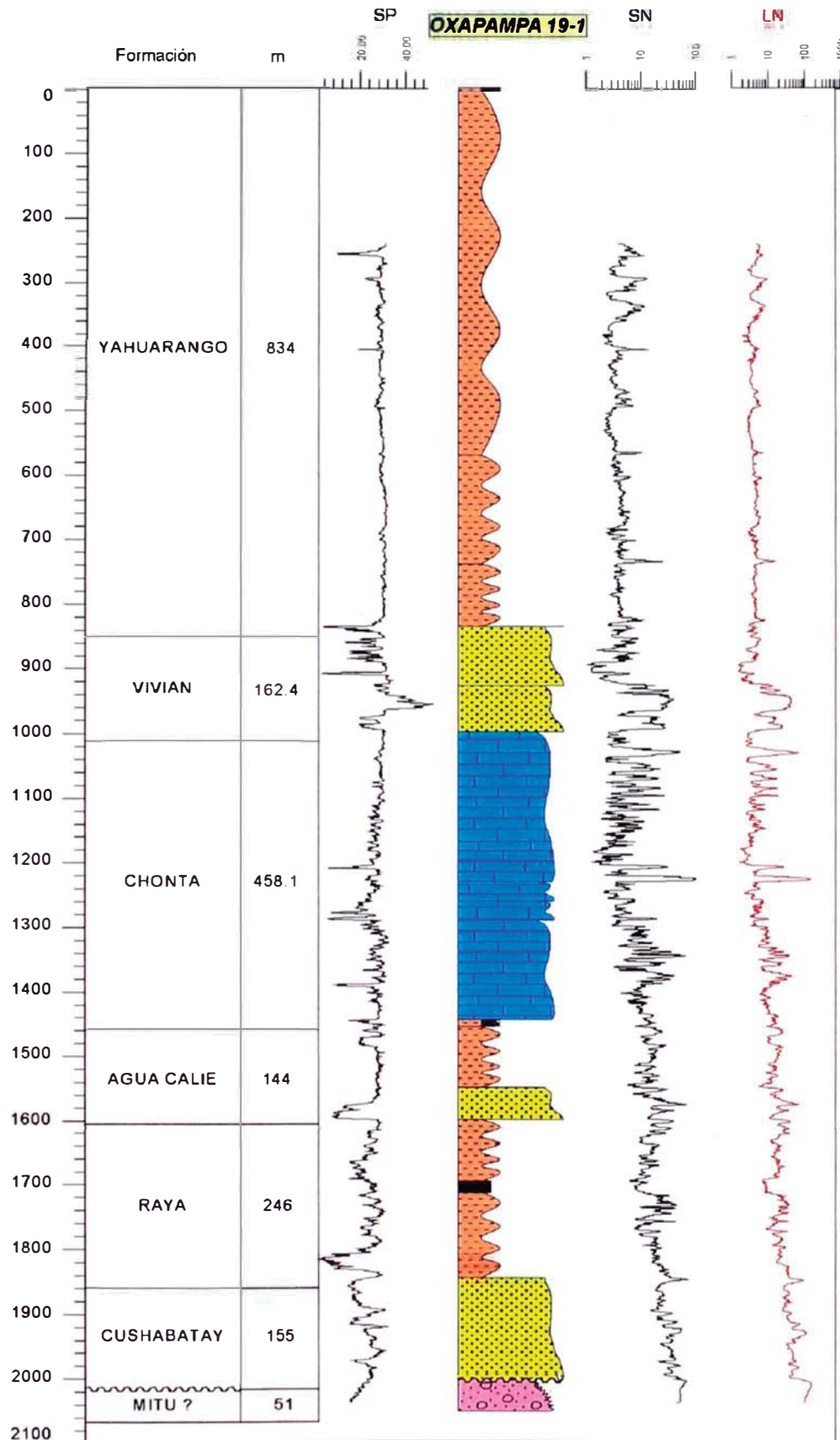


Figura IV-9. Pozo Oxapampa 19-1 (Figura IV-12) mostrando las series sedimentarias y registros eléctricos trazados. Un detalle particular de esta es en la base del pozo, que comúnmente fue atribuida a la formación Sarayaquillo. Ahora según nuestras correlaciones (Figura IV-13) y las descripciones del pozo estas podrían corresponder a las secuencias clásticas del grupo Mítu (Figura IV-12).

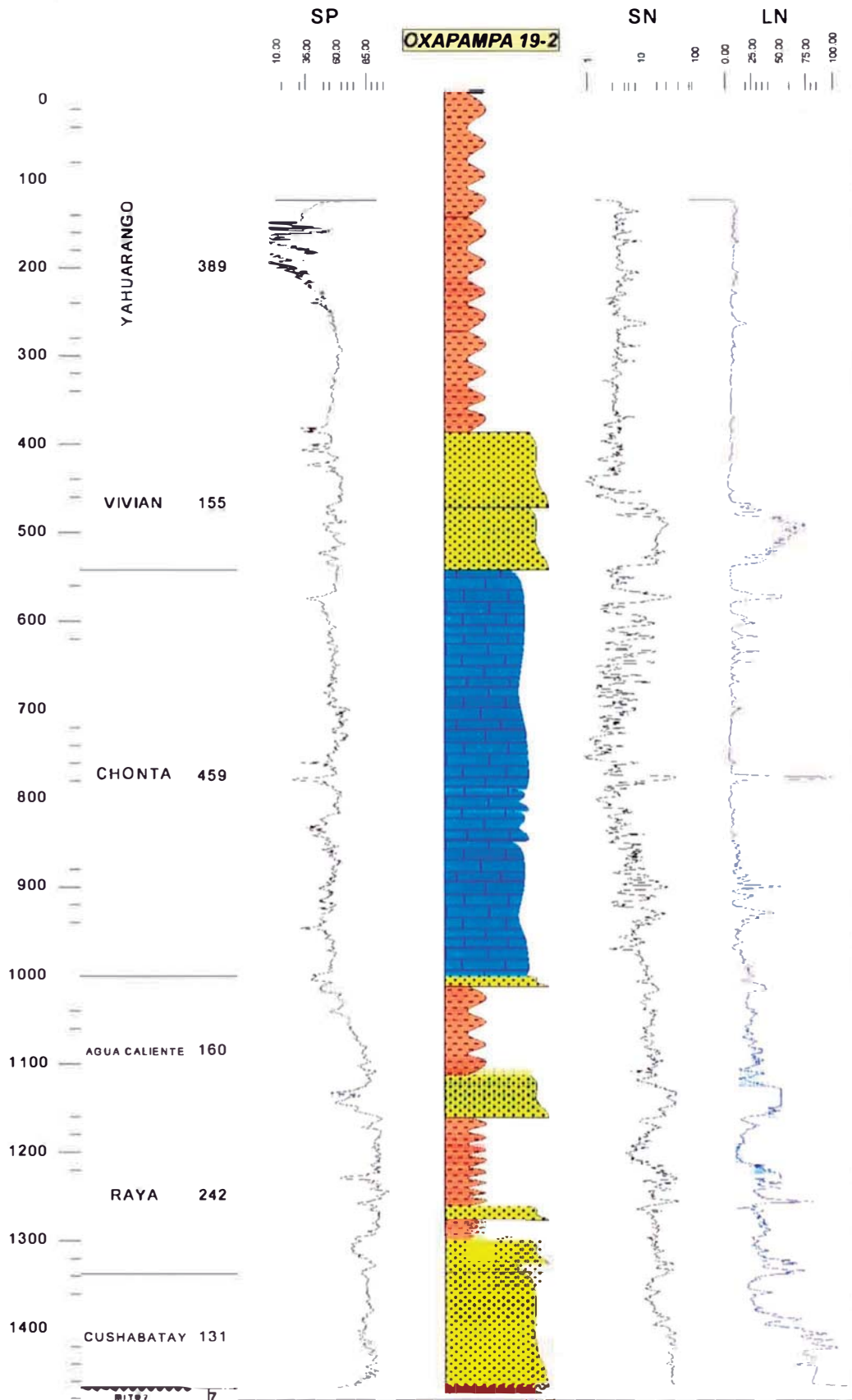


Figura IV-10. Pozo Oxapampa 19-2, mostrando las series sedimentarias y los registros eléctricos trazados. Ubicado en el anticlinal de Palcazú (Figura IV-12) al este del pozo Oxapampa 19-1.

4.4 Correlaciones estratigráficas Pozos Oxapampa - Cordillera de San Matías

Las correlaciones de los pozos Oxapampa 07-1, 19-1 y 17C-1 (*Figura IV-13*) se basan en los 05 pozos exploratorios Oxapampa perforados por CERROPET orientados de S-N (*Figura IV-12*). Estos muestran una importante secuencia paleozoica pertenecientes a las formación Ene y el grupo Mitú; una secuencia jurásica inferior-cretácica en contacto erosional y finalmente una cubierta terciaria concordante que no se ha podido diferenciar sus unidades debido a la antigua información de los pozos.

La secuencia paleozoica del ENE no ha sido registrada por ningún pozo, esta se infiere por debajo del Grupo Mitú por ser correlacionable con los afloramientos de San Matías; como también por datos estructurales y las líneas sísmicas que la atraviesan. Tanto al sur, como al centro del San Matías, afloran estas secuencias paleozoicas. Pero, al norte, solo afloran secuencias cretácicas (*Figura IV-13*).

El grupo Mitú es confirmado en el pozo Oxapampa 7-1 (*Figura IV-7*); aflora al sur y centro de la cordillera de San Matías y probablemente se encuentre en el pozo Oxapampa 19-1 y 19-2 (*Figura IV-13*) según descripciones litológicas de dichos pozos, descartando la presencia de la Formación Sarayaquillo que generalmente se le atribuía; por razón que no aflora en San Matías como tampoco hay evidencias en subsuelo.

Las secuencias del Jurásico inferior pertenecientes al Pucara son las que presentan mayor espesor y presencia de sal, registrados es el pozo Oxapampa 7-1 y 7-2. Estas se bicelan al este y no se encuentra en otro pozo, como tampoco, aflorando. Más al norte en el pozo Chio IX esta formación también se presenta con importantes niveles de sal lo cual hace evidente su extensión lateral.

Las secuencias cretácicas se preservan lateralmente en todos los pozos perforados. En el pozo Oxapampa 17C-1, parte norte del corrimiento de San Matías, aflora solamente el cretácico representado por la formación Chonta y Vivian. Problemas en la perforación del pozo muestra indicios de fallas de corrimiento, entre estas “San Matías Trust” siendo esta fijada con la geología de campo de la compañía PanEnergy y Oxy.

Las secuencias terciarias afloran concordantemente sobre las secuencias cretácicas y presentan un importante espesor en las partes central de la cuenca con más de 1000 m.

Finalmente, de todos los pozos perforado solo Oxapampa 07-1 es el que presenta mayores detalles en las secuencias registradas, en cambio, los demás pozos por su naturaleza de ser pozos antiguos y no profundos, presentan escasa información en los niveles paleozoicos. Por consiguiente el análisis de los registros de pozos y las muestras de core brindarían mayor información que la actual.

4.5 Correlación estratigráfica de la formación Ene.

La Formación Ene fue reportado en diferentes áreas del subandino, tanto en afloramiento como en pozos. Fue datado por análisis palinológicos por Martin & Robertson Research (1990) lo cual indica una edad Pérmico inferior (Artinskiano-Kunguriano?) variando a Pérmico medio a superior (Carloto, et al, 2000).

Esta formación fue localizada en el Pongo de Paquizapango (Laigh & Rejas, 1966), en Camisea (Pluspetrol), en el Río Inambari (Gil, 2001), en el borde sur de la Cordillera Oriental, Huayllabamba (Carloto, en SGP 2004), etc.

Los afloramientos y pozos que reportan esta formación presentan diferentes facies de los cuales se va diferenciando desde la base hasta el tope, siendo difícil su correspondencia estratigráfica, debido a las diferentes nomenclaturas usadas para describir sus miembros.

El principal inconveniente de asumir una nomenclatura acorde con las descritas en los afloramientos y pozos radica al momento de realizar las correlaciones de afloramiento con los de pozo, siendo estos últimos de mayor detalle que los primeros, los cuales presentan diversos nombres (Camisea). Tampoco se han realizado estudios regionales de la extensión de esta formación y mucho menos un estudio en base a estratigrafía secuencial que solucionaría varios problemas sedimentarios.

En la Sub Cuenca Pachitea se ha optado por diferenciar esta formación, basándose en sus facies características, constituidas escénicamente: en la base por lutitas negras registradas en la campaña IRD 1995 que en adelante llamaremos **Lutitas Ene**, seguidamente de facies continentales de areniscas eólicas, la cual llamaremos **Eólico Ene o Ene Eólico**, sobreyaciendo a estas se encuentra niveles de calizas rojas y algunos niveles de lutitas negras. Finalmente al tope, presenta niveles de areniscas en discordancia con el grupo Mitú (*Figura IV-3*).

En base a este levantamiento del afloramiento de San Matías (*Figura IV-2*) se realizó la correlación con la sección del Pongo de Paquizapango (Laigh & Rejas, 1966) y el área de Camisea (Chung, et. al. en Inf. Final Pluspetrol-IRD 2006) que se muestra en la *Figura IV-11*. En el cual podemos apreciar su correspondencia con las diferentes nomenclaturas, en especial con el área de Camisea y sus equivalentes estratigráficos: Shinai y Nia.

En conclusión, el problema de la nomenclatura de la Formación Ene en la Sub Cuenca Pachitea se solucionó con la diferenciación de esta, en base a sus facies, y representa una alternativa de correlación con las demás secciones levantadas en el subandino, asumiendo así para toda la Sub Cuenca Pachitea. Teniendo en cuenta que esta formación tiene mucho valor en la exploración por hidrocarburos y todavía esta en fase exploratoria.

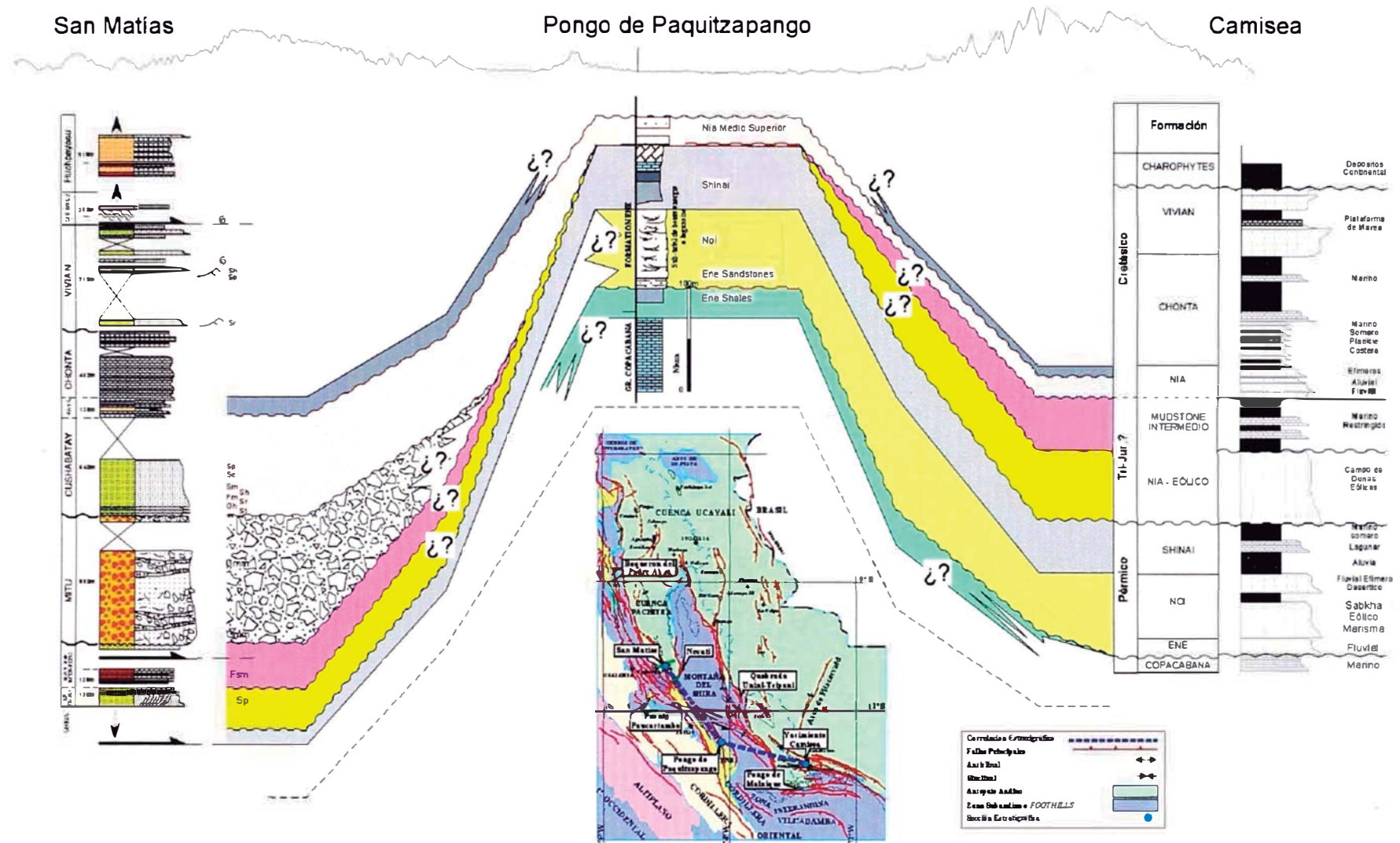


Figura IV-11 Correlación estratigráfica de la formación Ene en San Matías, Pongo de Paquitzapango (Laigh & Rojas, 1966) y el área de Camisea (Chung, et. al. en Inf. Final Pluspetrol-IRD 2006)

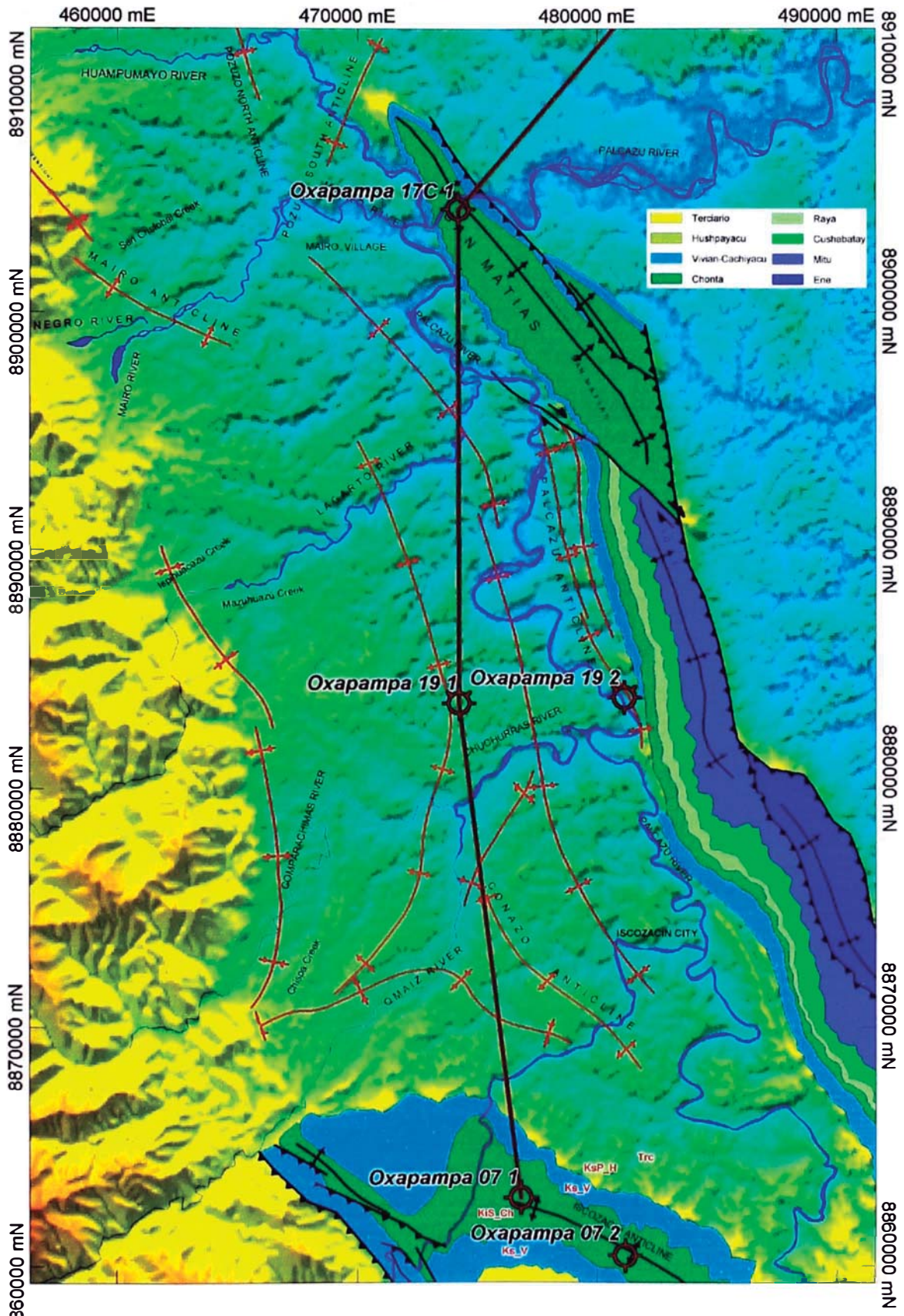


Figura IV-12. DEM (SRTM, NASA) mostrando la ubicación de los pozos, afloramientos y estructuras que son objeto de correlación.

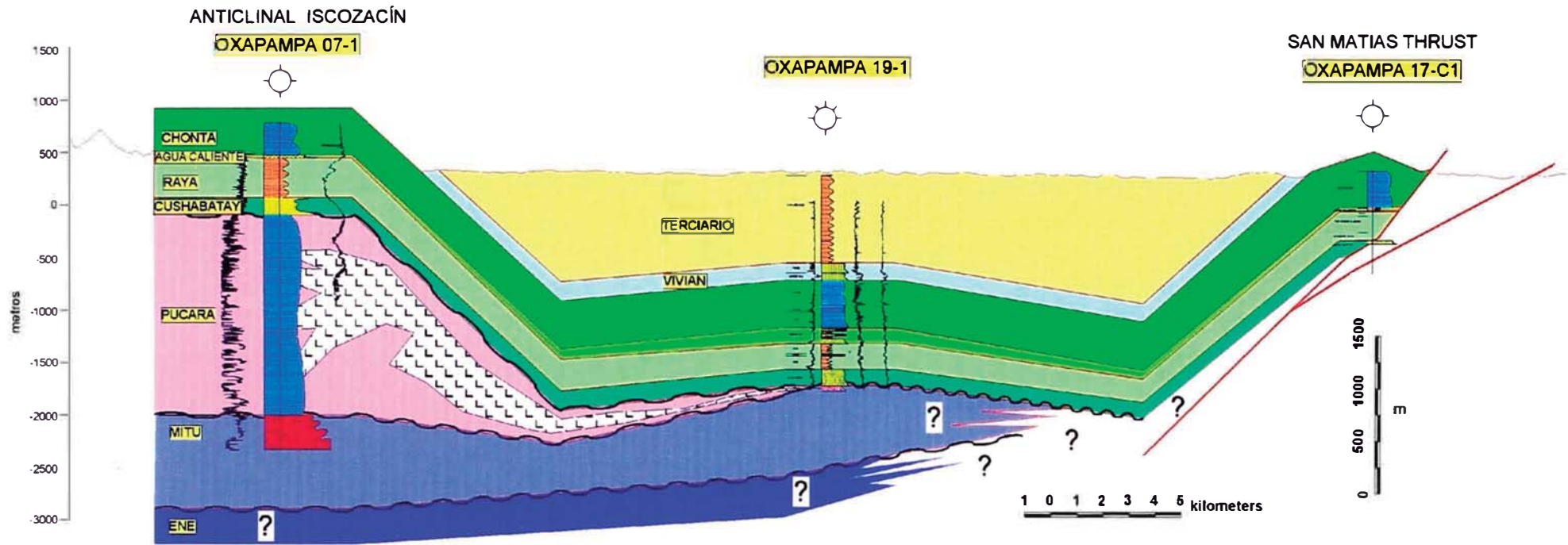


Figura IV-13. Correlación de pozos exploratorios Oxapampa orientados S-N mostrando las series sedimentarias involucradas. Notar que las series paleozoicas se adelgazan al noreste, de la misma manera la formación pucara, presentando esta niveles de sal (Halita y Anhidrita) que nos lleva a pensar en un diapirismo que probablemente levanto en el jurásico inferior y provoco la erosión de las secuencias del Sarayaquillo, estando esta ausente. Por otra parte, las series cretácicas y terciarias se presentan concordantes, teniendo esta última espesor mayor a 100m.

4.6 Nueva columna estratigráfica Propuesta

Los datos de campo, publicaciones sobre la Cuenca Pachitea (Gil; 1997; Gil, 2001), interpretaciones de pozo y la interpretación de las líneas sísmicas nos llevan a proponer importantes modificaciones a la estratigrafía de la región, que fue objeto de numerosas confusiones. De echo, estas se basan en las afirmaciones de Gil, pero con un particular, estas confirman y proponen mediante información de campo y de pozo las diferentes unidades estratigráficas a lo largo de la cuenca mediante un mapa detallado de afloramientos. Para esto nombraremos las principales propuestas:

1. Presencia de la formación ENE (Lutitas Ene en la base, seguidas del bancos eólicos y finalmente de facies de calizas finas y lutitas): al tope de los corrimientos de san Matías y por debajo de los conglomerados tradicionalmente atribuidos a la Formación Sarayaquillo (Jurásico sup), el cual afloran cuarcitas masivas con estratificación entrecruzada que sobreyace a un importante nivel de despegue. En la quebrada del Río Gavilán... flanco oriental de San Matías... (Gil, 1997). Siendo esta de semejantes características a los de Camisea: Noi, Shinay; como también a los afloramientos del Pongo de Paquizapango. ELF realizo trabajos de palinología, siendo estos insuficientes debido a que el material es térmicamente muy evolucionado (Gil, 2001). En consecuencia esta serie litológica constituiría la base del sistema de corrimientos de San Matías, "San Matías Thrust", (formación tradicionalmente considerada ausente en esta zona).
2. Sobreyaciendo al corrimiento de san Matías, una importante serie de conglomerados 900-1000m atribuidos tradicionalmente al jurasico fueron la causa de diferentes confusiones (Gil, 2001). Ahora basados en nuestros datos de campo, análisis de la secciones sísmica e interpretación de pozos, proponemos como Pérmico-Triásico; debido a su correspondencia con la sísmica como también en el pozo Oxapampa 7-1, siendo este ultimo el que confirma su presencia.
3. En discordancia erosional se distinguió el paso de la serie de conglomerados Mitú a la formación Cushabatay, siendo estos descritos en la salida de campo IRD2006 y levantados mediante columna estratigráfica en dos cortes estructurales (*Figura IV-5*). De la misma manera descansan sobre la formación Cushabatay la formación Raya, Chonta, Vivian y Cachiyacu (*Figura IV-14*).
4. Presencia de un corrimiento de gran extensión, que afecta a secuencias cretácico sup.- Terciarias caracterizadas por niveles de lutitas negras deformadas (*Figura IV-3*). Interpretadas por Gil et al (2001) como nivel de despegue las secuencias del ENE, basándose en la presencia de lutitas deformadas a nivel del Río Cacazú y el anticlinal de Iscozacín como también en la presencia de una muestra de ELF Pérmica?. Sin embargo dataciones de ELF y PLUSPETROL (PAC058) y nuestros datos de campo de IRD2006 con los de PANENERGY arrojan edades del cretácico superior, que contradice el dato de ELF, Pérmico?, siendo explicable por ser un material térmicamente maduro por lo tanto hay incertidumbre en su estimación. No obstante estos últimos datos de ELF y PLUSPETROL son en mayor cantidad que los iniciales por Gil. En conclusión, los corrimientos de Bella esperanza que anteriormente se les atribuía Pérmicos, según nuestros nuevos datos los denominaremos Cachiyacu Décolment y vienen a ser Cretácico sup. -Terciario. (*Figura IV-14*).

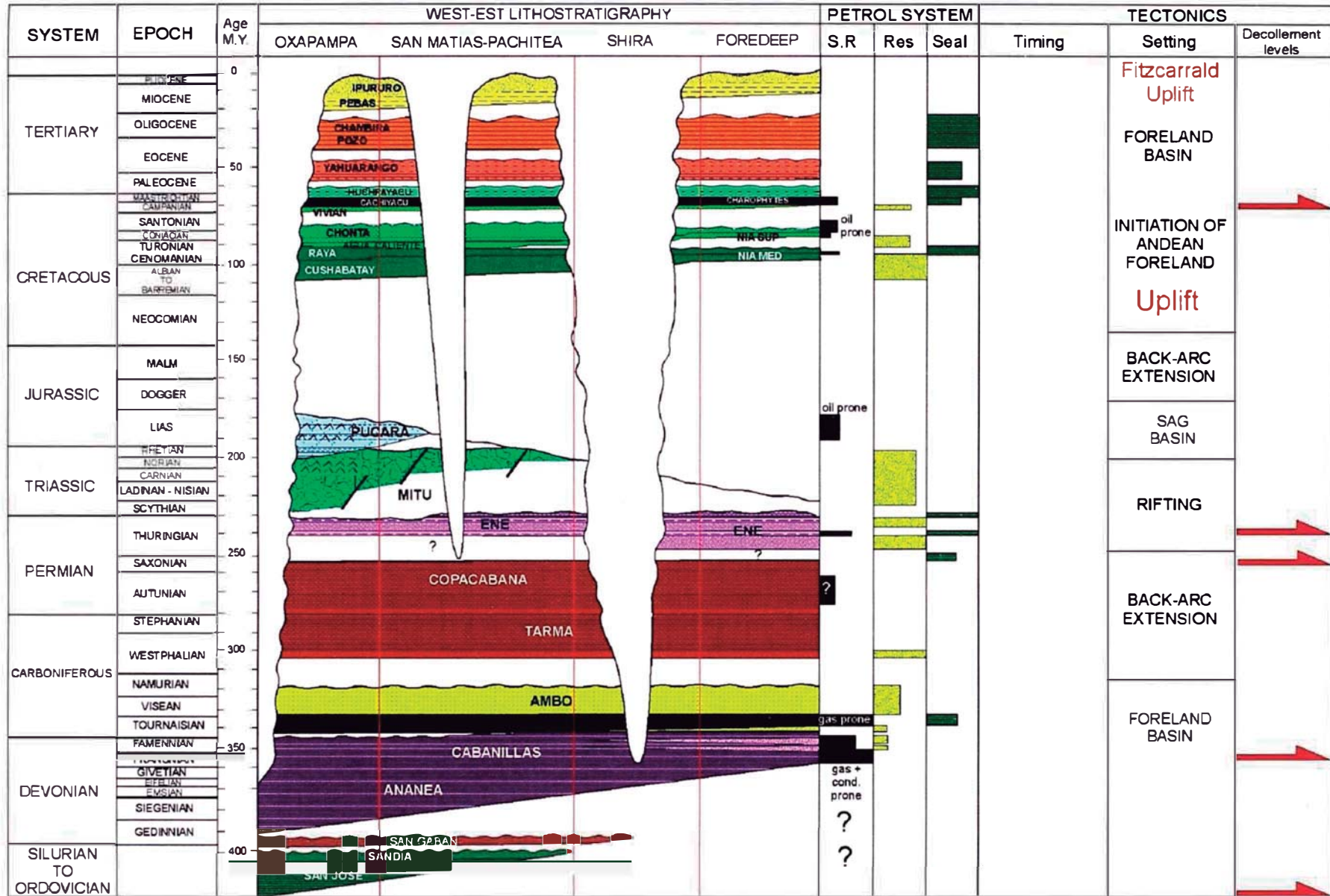


Figura IV-14. Diagrama Litoestratigráfico de la región de la Cuenca Pachitea, desde la cordillera oriental hasta el "foredeep" amazónico, compilado a partir de los trabajos de ELF, 1999; GIL, 2002 y IRD1995-2006.

CÁPITULO V

| | | |
|-------------------|---|------------|
| CÁPITULO V | HISTORIA TERMAL Y MODELAMIENTO DE CUENCA | 100 |
| 5.1 | INTRODUCCIÓN | 100 |
| 5.2 | GENERALIDADES | 100 |
| 5.3 | DATOS TERMALES | 103 |
| 5.3.1 | <i>Datos IRD 2006</i> | 103 |
| 5.3.2 | <i>Datos: ELF – PERUPETRO</i> | 104 |
| 5.3.2.1 | Datos de Campo | 104 |
| 5.3.2.2 | Datos de Pozo | 105 |
| 5.3.3 | <i>Resultados</i> | 112 |
| 5.4 | MODELIZACIÓN | 113 |
| 5.4.1 | <i>Calibración</i> | 114 |
| 5.4.2 | <i>Resultados de la modelización</i> | 116 |
| 5.4.2.1 | Pozo Oxapampa | 117 |
| 5.4.2.2 | Pozo ficticio, Cordillera de San Matías | 120 |
| 5.5 | CONCLUSIONES | 124 |

CÁPITULO V HISTORIA TERMAL Y MODELAMIENTO DE CUENCA (GENEX)

5.1 Introducción

El modelamiento de la cuenca Pachitea y de sus sistemas petroleros se realiza en dos pozos con ayuda del software GENEX 4.0.3 (Beicip-Franlab): el pozo Oxapampa 7-1 y un pozo ficticio representando los afloramientos de San Matías. Además, se menciona el pozo Oxapampa 19-2 que modeló OXY (2003).

Los datos geoquímicos constan del análisis de 05 datos IRD (2006), datos de pozo Oxapampa 7-1 por parte de ELF (1999), PETROPERU y PERUPETRO (1996), e informes de OXY (2003).

5.2 Generalidades

Para la comprensión de los diferentes parámetros geoquímicos que se utilizan al modelar una cuenca y sus sistemas petrolíferos es necesario conocer diversos conceptos que se derivan de la industria del petróleo.

Estos parámetros a considerar son principalmente los potenciales generadores de las rocas y son determinados básicamente a través del análisis geoquímico de las muestras de lutitas. Aquellas muestras son a base de pruebas de núcleos (en el caso de los pozos) y de muestras de afloramiento (en el caso de muestras de campo) aunque son preferibles núcleos de pozos frescos, mientras que las muestras de afloramientos son menos convenientes debido a que estas tienden a degradarse con la meteorización.

El objetivo principal de estas pruebas es determinar si las muestras son ricas en materia orgánica y si son capaces de generar hidrocarburos. En general cuanto mayor es la concentración de la materia orgánica, mayor será su potencial de generación.

En la actualidad se han desarrollado una diversidad de técnicas sofisticadas para la evaluación de estos diferentes parámetros: TOC (Contenido Orgánico Total), Tmax, Ro (madurez térmica de gran importancia para las modelaciones), TAI (índice de alteración térmica) y HI (índice de hidrogeno).

El primero, TOC, muestra la cantidad de materia orgánica que contiene una muestra y puede analizarse a partir de la combustión o pirolisis de pequeñas cantidades (aprox. 1grm ~ 0,0022 lbm); se registra en porcentaje en peso. Los rangos de este se pueden observar en la **Tabla V-1**

| Contenido orgánico total, % en peso | Calidad del kerógeno |
|--|-------------------------|
| < 0.5 | Muy pobre |
| 0.5 a 1 | Pobre |
| 1 a 2 | Regular |
| 2 a 4 | Buena |
| 4 a 12 | Muy buena |
| > 12 | Excelente |

| Potencial petrolero (kerógeno) | TOC (wt. %) |
|-----------------------------------|-------------|
| Muy pobre | 0-0.5 |
| medio | 0.5-1 |
| bueno | 1-2 |
| muy bueno | 2-4 |
| excelente | >4 |

Tabla V-1.- Primera tabla: Contenido orgánico de la roca generadora. El valor de corte mínimo para las lutitas se considera normalmente un contenido orgánico total (TOC) de 0.5%. En el otro extremo, algunos geocientíficos sostienen que es posible tener demasiada materia orgánica. El exceso de kerógeno puede rellenar los espacios porosos que de lo contrario podrían ser ocupados por hidrocarburos (Schlumberger). En la segunda tabla se observan los valores de TOC en función del Potencial petrolero de la materia orgánica (Peters et al., 1994) el cual tiene cierta semejanza con la primera tabla pero esta es más conservador.

Siguiendo en esta etapa, una vez realizado el proceso anterior, si se detecta suficiente riqueza orgánica, la muestra se somete a pruebas adicionales. Esta combustión da información a los geoquímicos, los cuales pueden determinar el tipo de kerógeno y el potencial para la generación de petróleo y gas.

El segundo parámetro, el Tmax es la temperatura del horno en el ensayo de Rock Eval Pirólisis en el momento de máxima generación de hidrocarburos. En el cual una muestra es sometida a calentamiento a diversas temperaturas en un horno cerrado con la finalidad de simular en el laboratorio la expulsión de hidrocarburos y evaluar el potencial de generación de hidrocarburos en la muestra (Lewan, 1994).

La temperatura a la cual se encuentra la roca en el subsuelo está determinada por la profundidad y es el parámetro que determina el nivel de madurez termal alcanzado. La reflectancia de la vitrinita (Ro) es otra herramienta de diagnóstico para evaluar la maduración. Componente clave del kerógeno, la vitrinita es una sustancia brillante formada mediante la alteración térmica de la lignina y la celulosa en las paredes de las células vegetales. Con el incremento de la temperatura, la vitrinita experimenta reacciones de aromatización irreversible y compleja, lo que se traduce en un incremento de la reflectancia (Peters KE et Casas 1994). Es debido a este cambio irreversible que la reflectancia de la vitrinita (Ro) que puede ser utilizado para determinar la máxima temperatura a la cual se encontraba la roca; ya que, esta es directamente proporcional al grado de alteración termal de la roca; y su valor no se reduce con la disminución de la temperatura (por levantamiento tectónico y disminución de la profundidad).

| Nivel de madurez termal | | Ro (%) | Tmax (°C) |
|-------------------------|---------------------|----------|-----------|
| Inmadura | | 0.2-0.6 | < 435 |
| Madura | de madurez temprana | 0.6-0.65 | 435-445 |
| | de madurez pico | 0.65-0.9 | 445-450 |
| | de madurez tardía | 0.9-1.35 | 450-470 |
| Post-madura | | 1.35 | >470 |

Tabla V-2 Niveles de madurez termal de la materia orgánica, relación entre la vitrinita (Ro) y el Tmax (Peters et al., 1994).

La reflectancia de la vitrinita fue utilizada por primera vez para diagnosticar la clase, o madurez térmica, de los carbones. Esta técnica fue posteriormente expandida para evaluar la madurez térmica de los kerógenos. Dado que la reflectancia aumenta con la temperatura, puede correlacionarse con los rangos de temperatura para la generación de hidrocarburos. Estos rangos pueden dividirse finalmente en ventanas de petróleo o gas.

La reflectividad (R) se mide mediante un microscopio provisto de una lente objetivo de inmersión en aceite y un fotómetro. Las mediciones de reflectancia de la vitrinita se calibran cuidadosamente en función de los estándares de reflectancia del vidrio o de los minerales, y las mediciones de la reflectancia representan el porcentaje de luz reflejada en el aceite (Ro). Cuando se determina un valor medio de reflectividad de la vitrinita a partir de muestras múltiples, se designa como Rm.

Como indicadores de la madurez térmica, los valores de Ro varían entre un tipo orgánico y otro. Esto significa que el inicio de la generación de hidrocarburos en la materia orgánica Tipo I puede ser diferente que en la materia orgánica Tipo II. Y, dado que el rango de temperatura de la ventana de gas se extiende más allá del rango del petróleo, los valores de Ro para el gas mostrarán un incremento correspondiente por sobre los del petróleo.

Por lo tanto, los valores de maduración altos ($Ro > 1.5\%$) generalmente indican la presencia de gas predominantemente seco; los valores de maduración intermedios ($1.1\% < Ro < 1.5\%$) indican la presencia de gas con una tendencia creciente hacia la generación de petróleo en el extremo inferior del rango. El gas húmedo puede encontrarse en la parte más inferior del rango ($0.8\% < Ro < 1.1\%$). Los valores más bajos ($0.6\% < Ro < 0.8\%$) indican la presencia predominante de petróleo, mientras que $Ro < 0.6\%$ indica kerógeno inmaduro. Los valores de Ro solos, a veces pueden ser engañosos y deberían considerarse con otras mediciones.

| Ro (%) | Potencial de Petróleo (kerógeno) |
|---------|----------------------------------|
| < 0.6 | Inmaduro |
| 0.6-0.8 | Petróleo |
| 0.8-1.1 | Gas húmedo |
| 1.1-1.5 | Gas - Petróleo |
| >1.5 | Gas seco |

Tabla V-3. Valores de potencial de petróleo según los rangos que manejan las empresas operadoras Schlumberger.

Otros indicadores comunes de la madurez incluyen el índice de alteración debido a la temperatura (TAI), basado en el examen microscópico del color de las esporas; la evaluación de la temperatura de pirolisis (Tmax); y, en menor medida, el índice de alteración del color de los conodontes (CAI), basado en el examen de unos dientes minúsculos fosilizados. Debido a la popularidad de la reflectancia de la vitrinita, estos otros indicadores a menudo se correlacionan con los valores de Ro.

Finalmente, el índice de Hidrógeno (HI) es un valor obtenido en el ensayo de Pirolisis, sus unidades son mg HC/g TOC ya que mide la cantidad de HC generada en el ensayo en relación a la cantidad de carbón orgánico (g TOC). El HI se utiliza para evaluar el potencial del keroseno (*Tabla V-4*).

| HI (mg HC/g TOC) | OI (mg CO2/g TOC) | Tipo de kerogen | Hidrocarburos expulsados |
|------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|
| >600 | <40 | I | petróleo |
| 300-600 | 40-70 | II | petróleo |
| 200-300 | 70-100 | II / III | petróleo y gas |
| 50-200 | 100-200 | III | gas |
| <50 | >200 | IV | ninguno |

Tabla V-4.- Mostrando el carácter de los hidrocarburos expulsados y su relación con los parámetros HI, OI, y tipo de kerogeno (Peters et al., 1994).

5.3 Datos termales

Los datos termales son la base para la calibración en la Sub – Cuenca Pachitea y constan de dos tipos de fuentes: Datos termales de campo obtenidos en el proyecto IRD 2006 y finalmente, datos termales recuperados de la compañía ELF y PETROPERU. Los primeros fueron evaluados dentro del proyecto de tesis, los cuales registran un total de 05 muestras. Por último, la información recuperada de ELF y PETROPERU figura un total de más de 20 datos dentro de los cuales son del pozo Oxapampa 17-1 y diferentes muestras de campo con datación y evaluación geoquímica.

5.3.1 Datos IRD 2006

En la campaña de campo IRD2006 se realizaron análisis gequímicos de un total de 05 muestras: PAC030, 055, 058b, 070 y PAC076, que comprenden entre las formaciones Ene hasta la formación Vivian-Cachiyacu. De estas muestras a excepción de PAC055 se realizaron análisis de TOC (*Tabla V-5*). Finalmente, se realizaron análisis de reflectancia de vitrinita del total de las muestras (*Tabla V-6, Figura V-1*).

| CARBONO ORGÁNICO TOTAL | | | |
|------------------------|------|------------------|---------|
| MUESTRA | Tipo | FORMACIÓN | TOC (%) |
| PAC-030 | Af | Ene | 0.45 |
| PAC-058b | Af | Vivian Cachiyacu | 0.34 |
| PAC-070 | Af | Vivian Cachiyacu | 0.21 |
| PAC-076 | Af | Chonta | 0.14 |

Tabla V-5 La tabla muestra los análisis de TOC de algunos datos de campo de IRD 2006.

| ANÁLISIS DE REFLECTANCIA DE LA VITRINITA | | | | | | | |
|--|------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------|--------------|----------------------------------|---|
| MUESTRA Prof. (m) | FORMACIÓN | REFLECTANCIA DE LA VITRINITA | | | | | OBSERVACIONES |
| | | Ro% | minRo | maxRo | n | s | |
| Af. PAC-030 | Ene | (0.62 1.16 (1.58) | 0.52 1.02 1.41 | 0.69 1.32 1.86 | 6 10 6 | 0.072) 0.117 0.161) | Escasas partículas húmicas medibles. Sólo unas pocas interpretables como vitrinita primaria. Difícil discriminar aparente vitrinita primaria de material bituminoso y de partículas recicladas. Valor de Ro muy poco confiable. |
| Af. PAC-055 | Vivian | 0.73 (1.35) | 0.60 1.10 | 0.87 1.66 | 10 6 | 0.095 0.219) | Escasas partículas húmicas medibles, pequeñas y de mala calidad. Sólo unas pocas interpretables como vitrinita primaria. Difícil discriminar aparente vitrinita primaria de partículas recicladas. Valor de Ro poco confiable. |
| Af. PAC-058b | Vivian-Cachiyacu | 0.69 (1.10) | 0.56 0.88 | 0.82 1.35 | 18 27 | 0.070 0.117) | Moderada cantidad de partículas húmicas medibles. Se define valor de Ro aceptable sobre población identificada como vitrinita primaria. |
| Af. PAC-070 | Vivian-Cachiyacu | 0.68 (1.13) | 0.60 1.05 | 0.76 1.31 | 2 5 | 0.113 0.110) | Escasas partículas húmicas medibles, pequeñas y de mala calidad. Sólo dos interpretables como vitrinita primaria. Valor de Ro muy poco confiable. |
| Af. PAC-076 | Chonta | -- (1.25) | -- 1.25 | -- 1.25 | -- 1 | -- --) | Ausencia de partículas interpretables como vitrinita primaria. |

Tabla V-6.- Análisis de reflectancia de vitrinitas de los mismos datos de campo IRD 2006 de la tabla anterior, por Héctor Villar 2007, Convenio IRD-Perupetro.

Donde:

- Ro: reflectancia media de la vitrinita,
- minRo: valor mínimo de reflectancia medido,
- maxRo: valor máximo de reflectancia medido,
- n: número de partículas medidas,
- s: desviación standard, Af : afloramiento.

5.3.2 Datos: ELF – PERUPETRO.

Los datos recopilados ELF-PETROPERU-PERUPETRO fueron obtenidos en la base de datos de PERUPETRO, los cuales se resumen en las siguientes tablas (Tabla V-7, Tabla V-8) y figura (Figura V-2).

5.3.2.1 Datos de Campo

Estos datos se presentan al norte, sur y centro de los corrimientos de San Matías, constan de análisis de TOC y Ro, de un total de 05 muestras representativas y puede verse en el mapa Figura V-1. Por otro lado, también a nivel de los afloramientos de Nevati (Figura V-1, Figura V-6), se obtuvo datos de TOC y Ro.

5.3.2.2 Datos de Pozo

Estos datos fueron analizados por PERUPETRO en las pruebas del pozo Oxapampa 7-1 (*Tabla V-7, Tabla V-8*) perforado por CERROPET; y adicionales a estas las obtuvo ELF por medio de CORELAB (*Figura V-2*). Finalmente mostraremos los registros de los pozos Oxapampa 19-1 y 19-2 que evidencian trazas de gas (*Figura V-3, Figura V-4*).

| Organic Carbon And Rock-Eval Pyrolysis Data: Oxapampa 7-1 | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|
| SAMPLE IDENTIFICATION | | TOC | S1 | S2 | S3 | Tmax | S1/ | HI | IO | S2/ | PI |
| DGSI ID | Depth (Feet) | Wt% | mg/g | mg/g | mg/g | degC | TOC | | | S3 | |
| | AGUA CALIENTE –RAYA FM | | | | | | | | | | |
| 101 | 1230 | 0.12 | 0.05 | 0.06 | 0.26 | 467 | 42 | 50 | 217 | 0.23 | 0.45 |
| 102 | 1530 | 0.13 | 0.06 | 0.07 | 0.21 | 438 | 46 | 54 | 162 | 0.33 | 0.46 |
| | CUSHABATAY FM | | | | | | | | | | |
| 103 | 2550 | 0.11 | 0.09 | 0.12 | 0.22 | 436 | 82 | 109 | 200 | 0.55 | 0.43 |
| 104 | 2900 | 0.1 | 0.06 | 0.03 | 0.16 | 394 | 60 | 30 | 160 | 0.19 | 0.67 |

TOC: Carbon Orgánico Total, S1: Cuantificación del pico S1 de la pirolisis (mgHC/gRoca), S2: Cuantificación del pico S2 de la pirolisis (mgHC/gRoca), S3: Cuantificación del pico S3 de la pirolisis (mgHC/gRoca), Tmax : Temperatura(°C) alcanzada en el máximo del pico S2, IH: Índice de Hidrogeno (mgHC/gTOC), IO: Índice de Oxígeno (mgCO2/gTOC), IP: Índice de Producción

Tabla V-7.- Análisis de muestras del pozo oxapampa 7-1x (DGSI. Murphy Peru Oil co, para PERUPETRO, 1996)

| Vitrinite Reflectance Oxapampa 7-1 | | | | | |
|------------------------------------|-------------------------|------|------|----|-------|
| SAMPLE IDENTIFICATION | | TOC | Tmax | HI | V Ro |
| DGSI ID | Depth (Feet) | Wt% | degC | | |
| | AGUA CALIENTE RAYA - FM | | | | |
| 101 | 1230 | 0.12 | 467 | 50 | ¿0.49 |

Tabla V-8 Análisis de muestras del Pozo Oxapampa 7-1 con la única muestra con Ro.

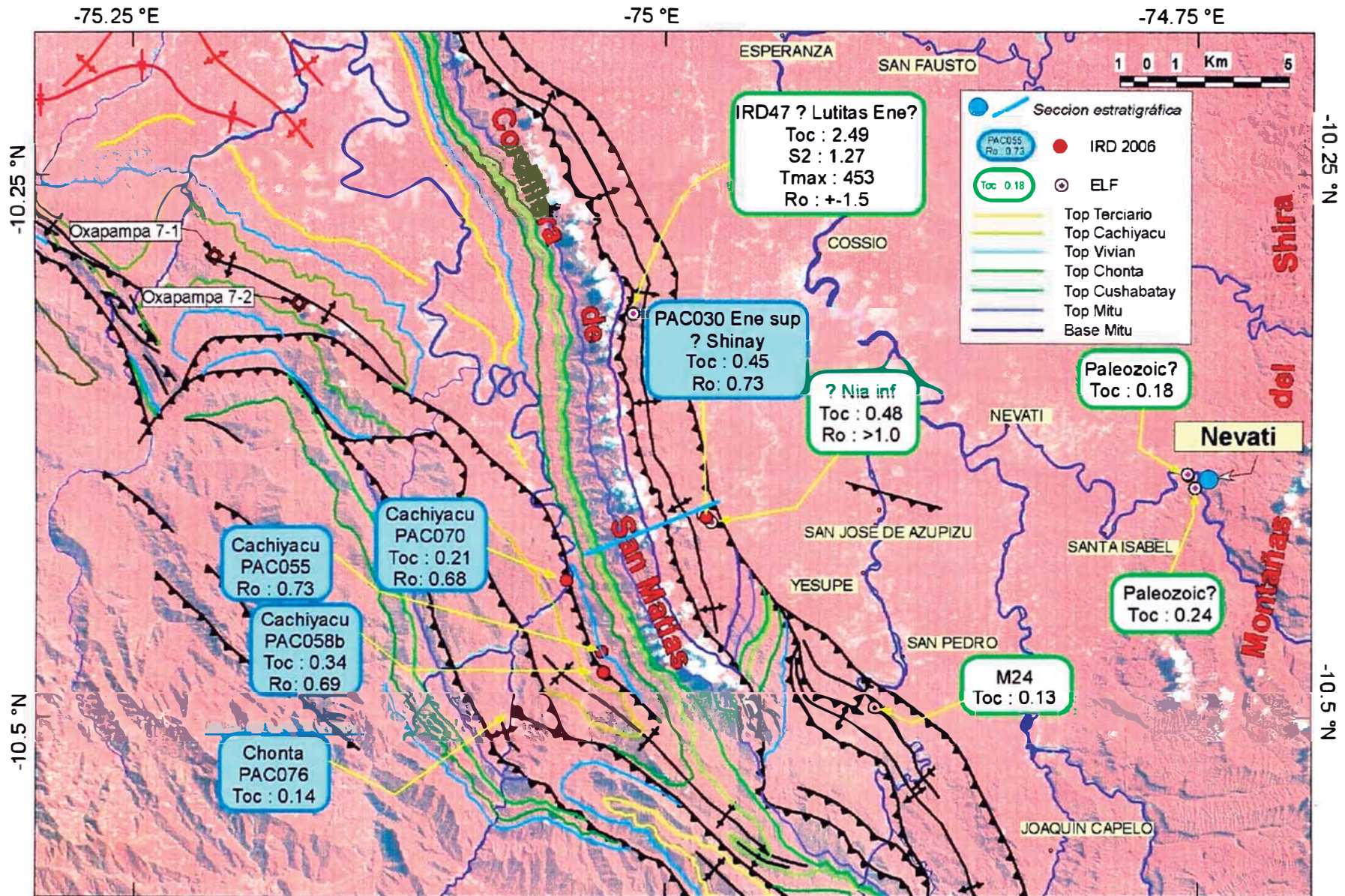


Figura V-1.- Mapa satelital RGB (4, 3, 2) mostrando los principales datos de TOC y Ro compilados hasta la fecha.

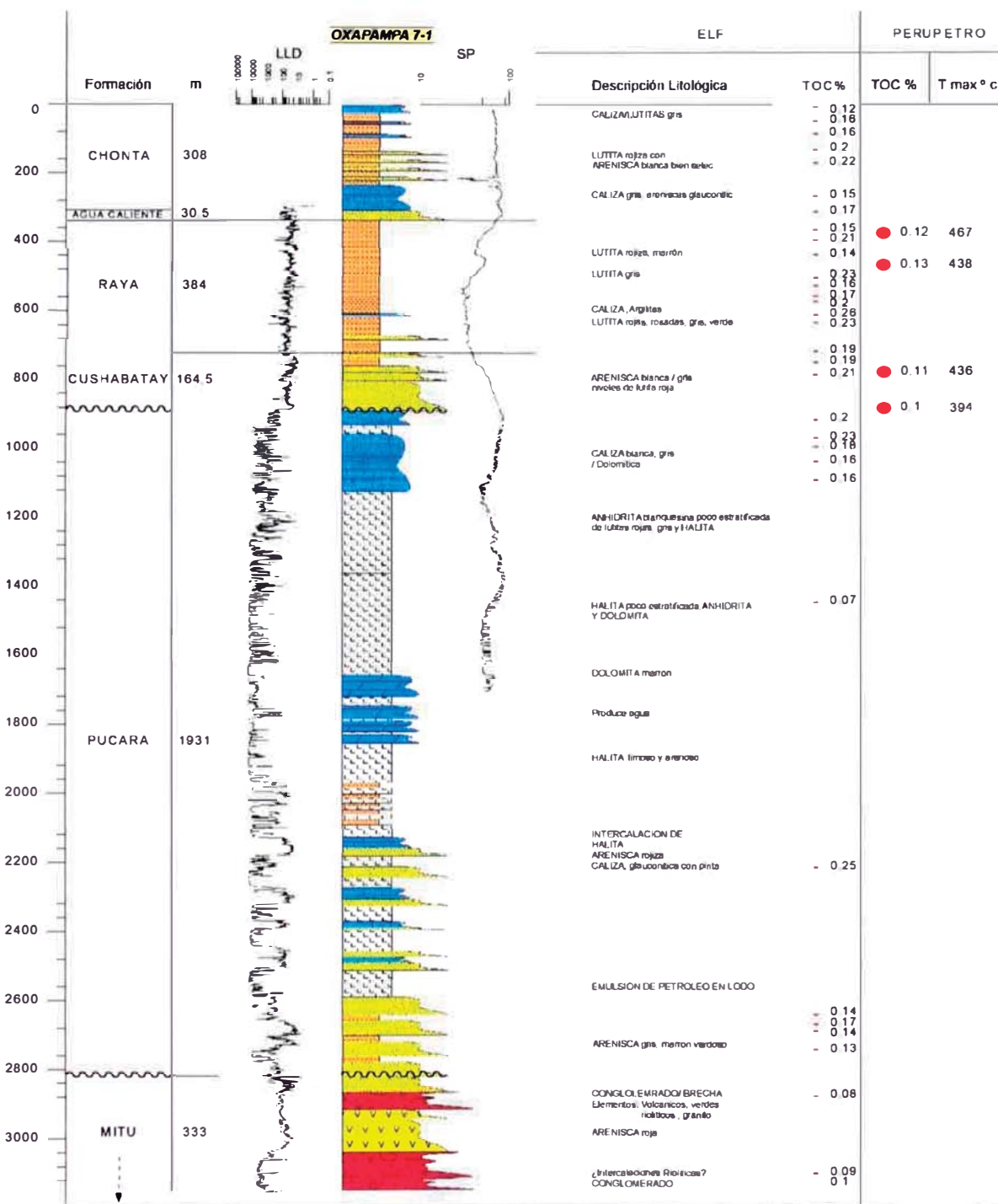


Figura V-2.- Pozo Oxapampa 7-1, detalle de los horizontes con información geoquímica de las dos compañías que realizaron análisis geoquímicos.

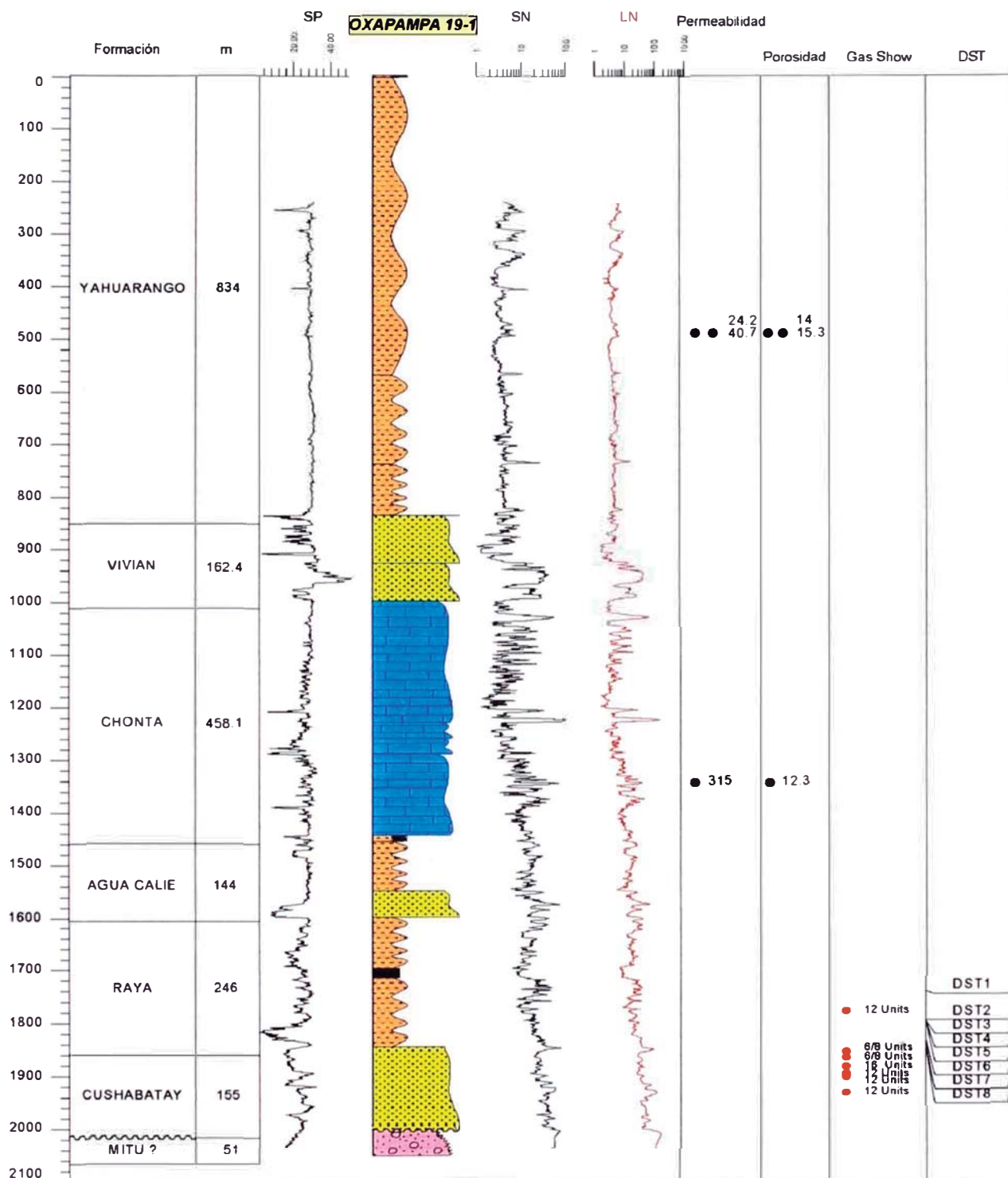


Figura V-3.- Pozo Oxapampa 19-1 mostrando los horizontes con trazas de gas registrados en las pruebas de pozo por parte de CERROPET.

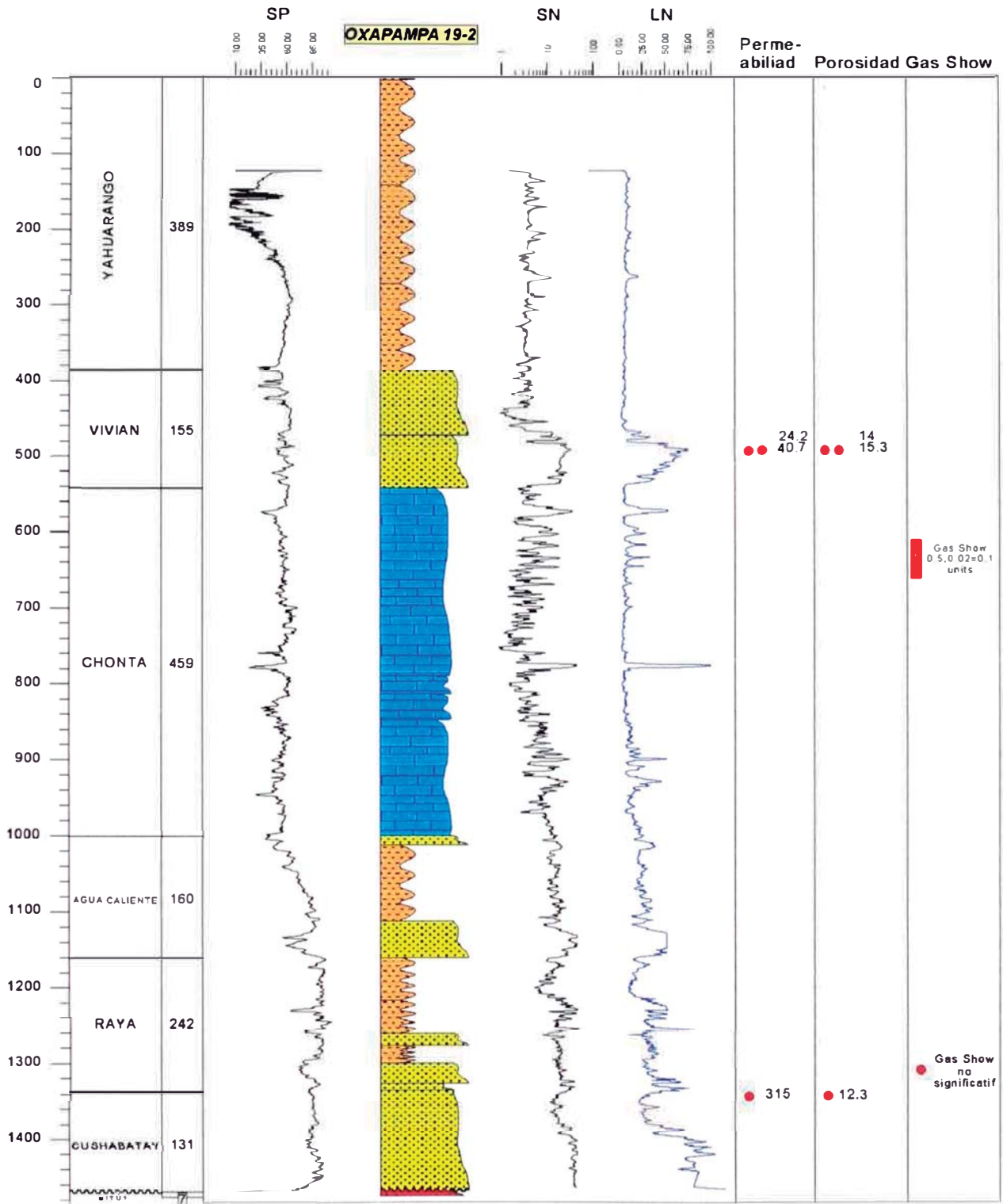
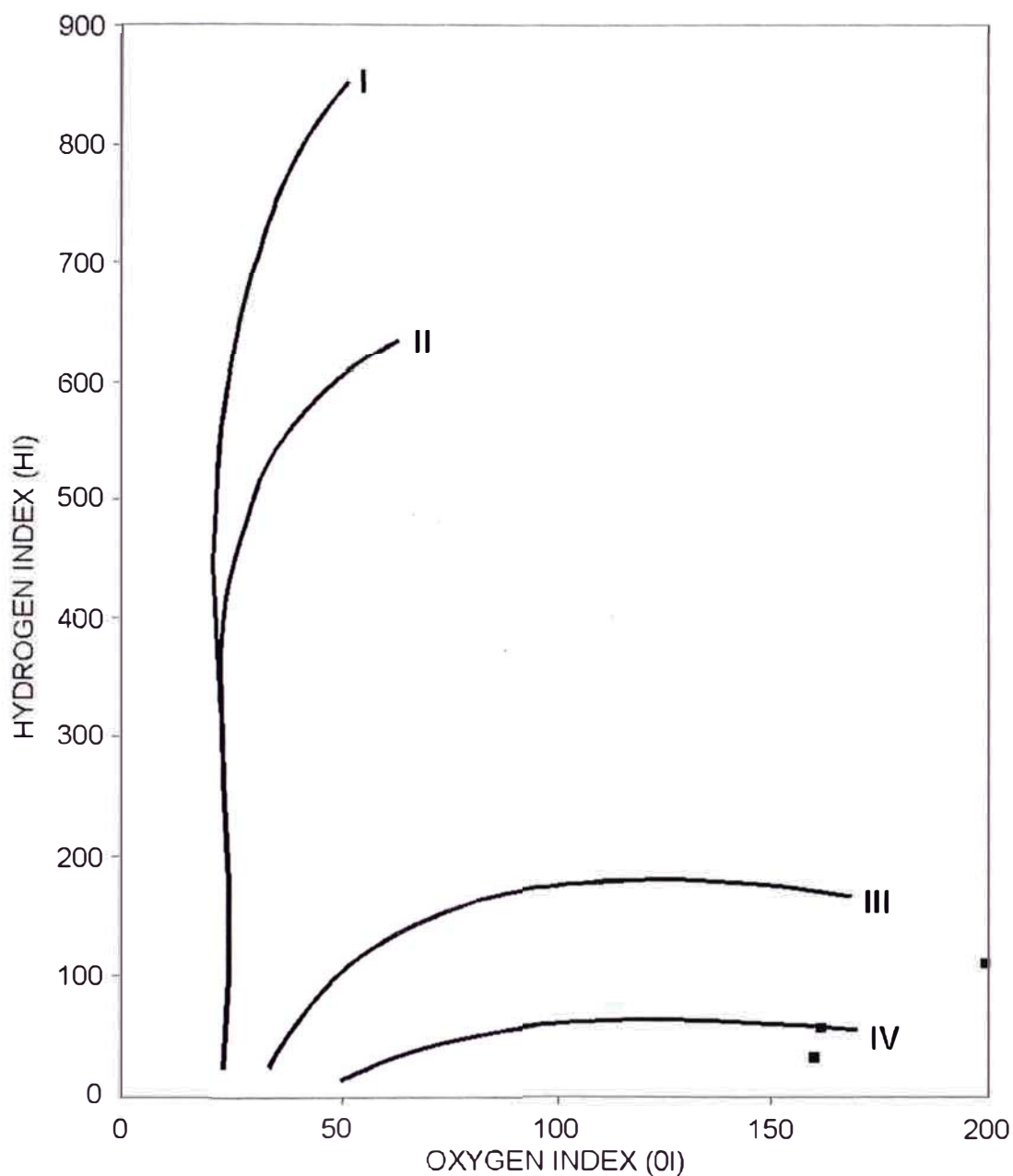


Figura V-4.- Pozo Oxapampa 19-2 mostrando los horizontes con trazas de gas registrados en las pruebas de pozo por parte de CEROPET.



Determinación del tipo de kerogeno con pirólisis Rock-Eval. Tipo I y II produce petróleo, Tipo III gas y Tipo IV poco o nada de hidrocarburo

Figura V-5.- Diagrama de determinación del tipo de kerogeno de los resultados de la Tabla V-8, en los niveles Cretácicos (Perupetro).

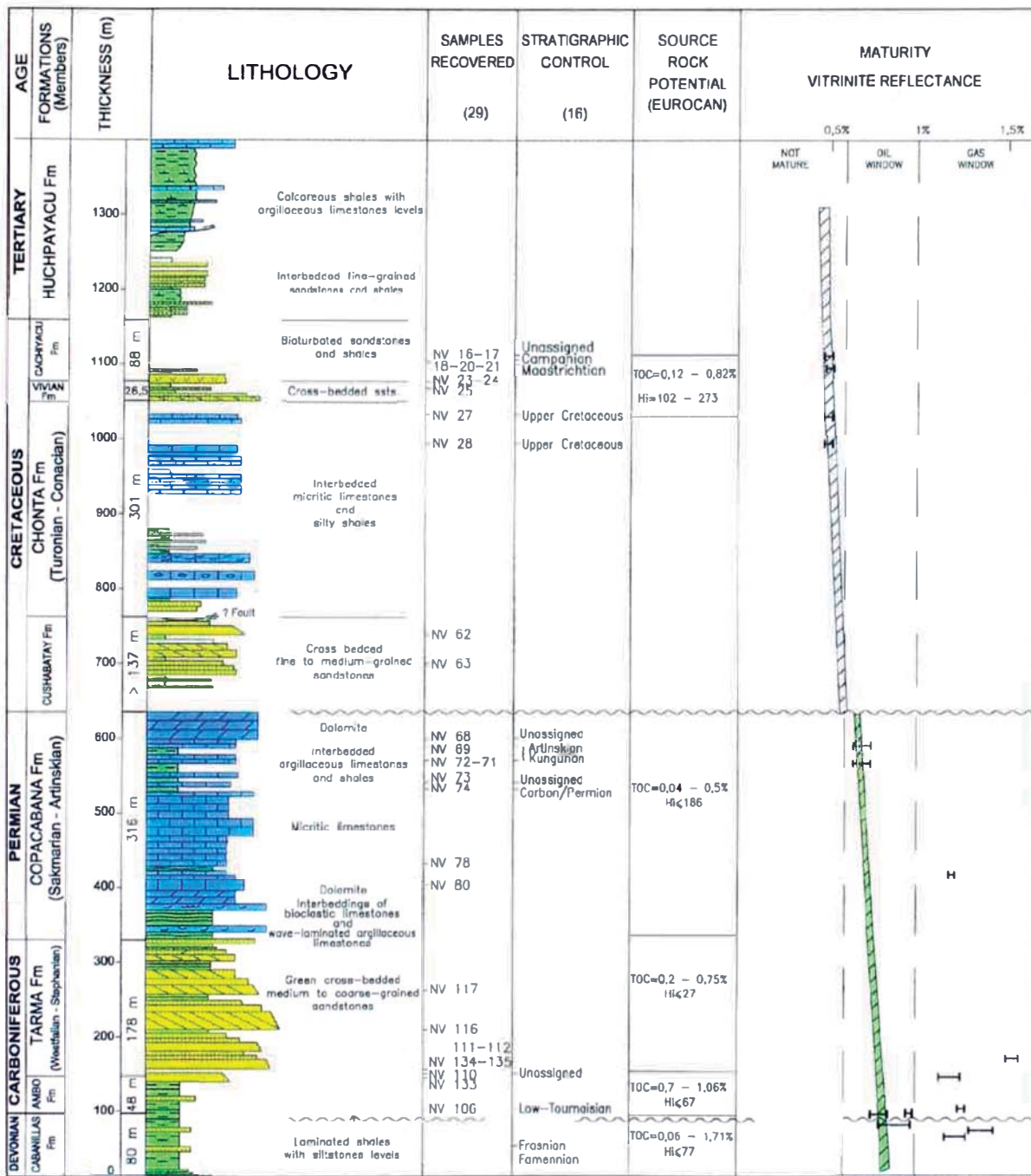


Figura V-6.- Columna estratigráfica (ELF) a nivel de Nevati, parte occidental de las montañas del Shira (Figura V-1) presentando información geoquímica y el control estratigráfico del mismo.

5.3.3 Resultados

Para el caso de los resultados de las 05 muestras analizadas por IRD (IRD 2006) estas son reportadas como heterogéneamente bajas con rangos de TOC de 0.14%-0.45%. Por esta razón no se realizó pirolisis rock eval. Microscópicamente, las muestras están fuertemente dominadas por kerógeno amorfo de mala calidad (*Tabla V-5*). La madurez térmica de las muestras PAC070, 58b y 55 es de fase temprana media de generación.

Los datos geoquímicos del pozo oxampampa 7-1 analizados por PERUPETRO a través de Murphy Peru Oil co (1996). (*Tabla V-7 y Tabla V-8*) muestran cuatro pruebas cretácicas con valores muy bajos en carbón orgánico y con bajo rendimiento, estas se categorizan como kerógeno de tipo IV (*Figura V-5*). Ningún contenido de petróleo o gas en los estratos ha sido identificado. El kerógeno en dos pruebas consta primordialmente de lípidos no diferenciados con sólo cantidades menores de fragmentos terrígenos pequeños, este tipo del kerógeno es característico de depósitos marinos de oxidación. Se realizó una medida de madurez de 0.49 Ro muy dudosa en la formación Agua Caliente. La confirmación con otros parámetros de madurez no se pudo realizar por el carácter altamente oxidado de la materia orgánica.

Formación Cabanillas:

Esta formación en la Sub-Cuenca Pachitea solo aflora en Nevati (*Figura V-1, Figura V-6*) y presenta niveles de TOC de 0.6 -1.71% y 0.75 de Ro respectivamente, los cuales tienen buena calidad de kerógeno madura, con potencial de generación de petróleo.

Formación Ambo:

Al igual que la Formación Cabanillas, esta aflora en Nevati (*Figura V-1, Figura V-6*) y representa niveles de TOC de 0.7 a 1.06% y 0.6 de Ro, de los cuales tienen calidad de kerógeno: madura, con potencial de generación de petróleo: inmaduro.

Formación Tarma:

Esta formación idéntica a las anteriores aflora en Nevati (*Figura V-1, Figura V-6*) representa niveles de TOC de 0.2- 0.75% y 0.45 de Ro, siendo de calidad de kerógeno: muy pobre a madura; y con potencial de generación de petróleo: inmaduro.

Formación Ene:

De las 05 muestras analizadas por el IRD una corresponde al tope de la Formación Ene con facies de lutitas negras y calizas finas rojas, PAC030 (*Tabla V-5, Tabla V-6*) con valor de TOC: 0.45wt%. Este valor es bajo y esta en fase inmadura. Pero, más al norte, en la campaña IRD 1995 que a su vez fue analizada por ELF registraron una muestra IRD047 = M18 (ELF) correspondiente a las lutitas Ene, ubicado en la base de la formación, resultando valor bueno de TOC: 2.49 wt%, Ro: +-1.5, S2: 1.27 y Tmax: 453 y como potencial de generar Petróleo – Gas; y madurez termal: post madura (*Figura V-1*).

Formación Cushabatay:

Para esta formación hasta la fecha solo se cuenta con información del pozo Oxapampa 7-1 (*Figura V-2*) y fue evaluada por PETROPERU y posteriormente ELF. Estos valores son muy pobres, el TOC entre los 0.11-0.21wt%, y valores de Tmax de 436°C.

Formación Raya (Esperanza):

Esta formación al igual que la anterior, fue analizada en el pozo Oxapampa 7-1 (*Figura V-2*), cuenta con 12 muestras de TOC y 02 muestras de Tmax distribuidos a nivel de la formación. Los valores de TOC son muy pobres, oscilan entre los 0.14-0.26 wt%; y valores de Tmax: 438, 467.

Formación Agua Caliente:

A nivel del pozo oxapampa 7-1 se registra una muestra de TOC de valor muy pobre: 0.17. Adicionalmente DGSi realizó un estudio por parte de PERUPETRO en este nivel. Resultando una madurez muy dudosa de 0.49 Ro, basado en sólo una medida de reflectancia (*Tabla V-8*).

Formación Chonta:

De las 05 muestras de afloramiento analizadas por IRD 2006, una corresponde a la formación Chonta, esta comprende cuarcitas duras blancas con niveles de lutitas negras deformadas PAC076 (*Figura V-1*) de valores bajos de TOC y Ro: 0.14 wt%, y 0.9 respectivamente, con potencial muy pobre. A nivel del Pozo Oxapampa, se encuentran valores muy pobres de TOC de 0.12-0.22 wt%, (*Figura V-2*).

Formación Cachiyacu:

De las 05 muestras de afloramiento evaluadas por IRD 2006 tres pertenecen a esta formación, PAC055, PAC058b y PAC070 con valores muy pobres de TOC de 0.21 y 0.34 wt%; y Ro de 0.68-0.73

5.4 Modelización

Con la finalidad de conocer la historia termal controlada por la geodinámica y entender la evolución de los sistemas de petróleo en la Sub-Cuenca Pachitea, se procedió con la modelización de la Sub Cuenca Pachitea utilizando el programa de modelamiento de cuenca Genex (Beicip-Franlab). El cual simula la historia de la cuenca calibrada a partir de datos de madurez térmica.

La identificación de los espesores preservados y erosionados resultó ser un elemento clave para lograr una buena correspondencia entre la información de madurez Ro analizados y los resultados del modelo.

Para evaluar los procesos y tiempos de generación, migración de hidrocarburos e historia geodinámica de la cuenca Ucayali se ha seleccionado el pozo Oxapampa 7-1 y un pozo ficticio localizado en del frente de corrimientos de San Matías.

5.4.1 Calibración:

La calibración se basan en los valores de Ro (o Tmax) y temperaturas de pozo (BHT), siendo los valores de BHT corregidos (corrección por temperatura del lodo de perforación). Estos mostraran el nivel de certeza de los resultados de la modelización y permitirán la aproximación del mismo.

Se utilizo un flujo de calor (heat flow) constante de 20 mW/m2 para la Sub-Cuenca Pachitea, el cual es asumido de las modelizaciones de la parte norte de la cuenca Ucayali, según los parámetros de cuencas jóvenes que propone Magoon et al. (1994).

Se utilizo los datos de las columnas estratigráficas de afloramientos y de pozos para el llenado de los datos que necesita el software (Figura V-7, Figura V-8). El pozo Oxapampa 7-1 (Figura V-1) es calibrado con valores de BHT obtenido de los registros de perforación, resultando una buena correlación, (Figura V-9), así como también con un dato de Ro en el Cretácico superior (Figura V-10).

| Formations and Source Rocks | | | | | | | | Referonco Datum : BURIAL | |
|-----------------------------|------------|----------------|----------|-----------|--------------------------|------------------------------|--|--------------------------|---|
| | Type U/M F | Formation Name | Age (Ma) | Depth (m) | Thickness Eroded Missing | Petro Physics Litho. / Meas. | Lithologies Composition (%) Measurements (Phi Law) | P | B |
| 1 | U | surface | 10.00 | | -1500.0 | | | | |
| 2 | F | Chonta | 90.00 | 308.0 | 308.0 | Litho. | SHA:40 LIM:40 SAN:20 | | |
| 3 | F | Agua Calien | 100.00 | 338.5 | 30.5 | Litho. | SANDSTONE:100 | | |
| 4 | F | Raya | 105.00 | 722.5 | 384.0 | Litho. | SHA:95 LIM:3 SAN:2 | | |
| 5 | F | Cushabatay | 112.00 | 881.5 | 159.0 | Litho. | SAND:80 SHAL:20 | | |
| 6 | U | disc/nodepc | 145.00 | | -100.0 | | | | |
| 7 | F | Pucara | 200.00 | 2812.5 | 1931.0 | Litho. | AN:50 SA:20 LI:20 DO:10 | | |
| 8 | F | Mitu | 250.00 | 3692.5 | 880.0 | Litho. | TIIF:45 SAN:40 SIL:15 | | |
| 9 | F | Ene | 275.00 | 3942.5 | 250.0 | Litho. | SAN:60 LIM:30 SHA:10 | | |
| 10 | | | | | | | | | |

Figura V-7.- Datos Oxapampa 7-1, infiriendo la formación Ene, miembro Nia que aflora en San Matías con el fin de modelar.

| | Type U/M F | Formation Name | Age (Ma) | Depth (m) | Thickness Eroded Missing | Petro Physics Litho. / Meas. | Lithologies Composition (%) Measurements (Phi Law) |
|----|------------|----------------|----------|-----------|--------------------------|------------------------------|--|
| 1 | U | surface | 10.00 | | -2700.0 | | |
| 2 | F | huchpayacu | 66.00 | 518.0 | 518.0 | Litho. | MAR:60 SHA:30 SAN:10 |
| 3 | F | cachiyacu | 67.00 | 720.0 | 202.0 | Litho. | SHALE:100 |
| 4 | F | vivan | 70.00 | 1438.0 | 718.0 | Litho. | SAND:80 SHAL:20 |
| 5 | F | Chonta | 90.00 | 1900.0 | 462.0 | Litho. | LIME:90 SHAL:10 |
| 6 | F | Raya | 105.00 | 2038.0 | 138.0 | Litho. | SHAL:50 MARL:50 |
| 7 | F | Cushabatay | 112.00 | 2678.0 | 640.0 | Litho. | SANDSTONE:100 |
| 8 | U | disc/nodepc | 200.00 | | -200.0 | | |
| 9 | F | Mitu | 250.00 | 3558.0 | 880.0 | Litho. | SANDSTONE:100 |
| 10 | F | ene noi | 268.00 | 3686.0 | 128.0 | Litho. | MAR:90 SAN:5 SHA:5 |
| 11 | F | ene sand | 270.00 | 3812.0 | 126.0 | Litho. | SAND:90 SHAL:10 |
| 12 | F | copacabana | 300.00 | 4128.0 | 316.0 | Litho. | LIM:70 DOL:25 SHA:5 |
| 13 | F | tarma | 320.00 | 4306.0 | 178.0 | Litho. | SAND:80 SHAL:20 |
| 14 | F | ambo | 360.00 | 4354.0 | 48.0 | Litho. | SHA:50 SIL:30 SAN:20 |
| 15 | F | cabanillas | 390.00 | 4434.0 | 80.0 | Litho. | SHA:60 LIM:25 SAN:15 |

Figura V-8.- Datos de campo y columna estratigráfica que permite la simulación de pozo ficticio de San Matías.

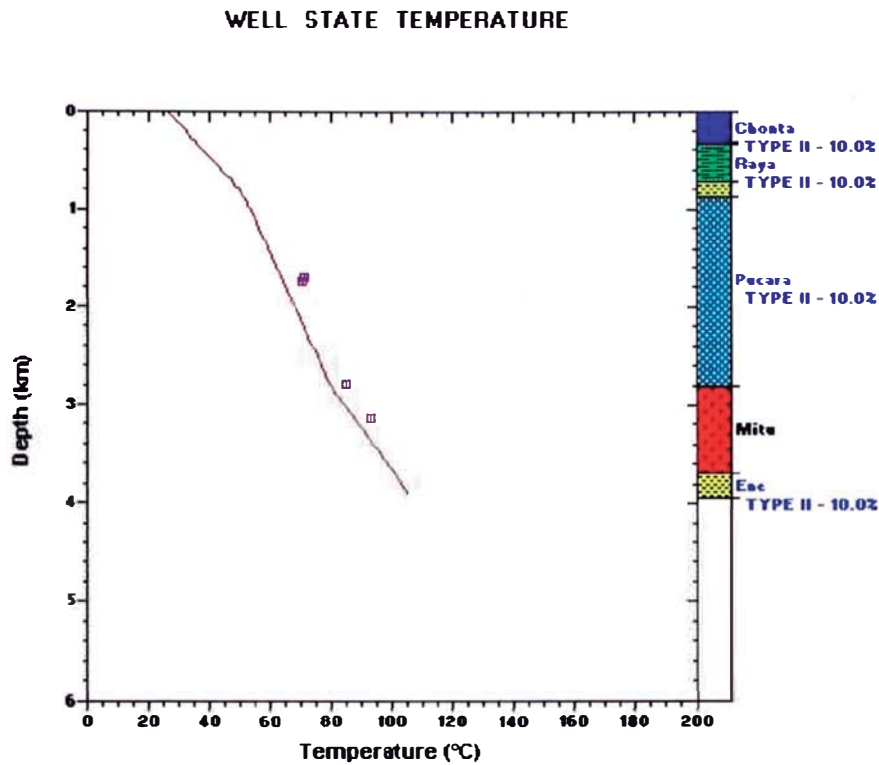


Figura V-9.- Calibración con valores de BHT del pozo Oxapampa 7-1 corregidos, ubicado en el anticlinal de Iscozacín (Figura V-1)

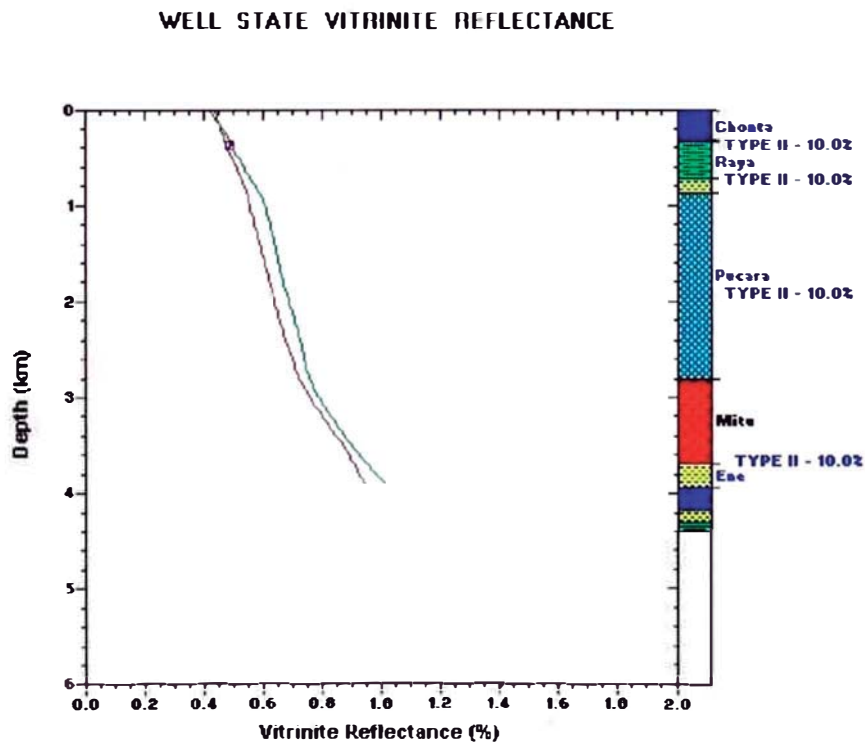


Figura V-10.- Calibración del pozo Oxapampa 7-1 con un valor de R_o en las secuencias del Cretácico superior, AguaCaliente – Raya.

Para el caso de los datos de campo se simulo un pozo ficticio con la columna estratigráfica y los datos de campo del afloramiento de San Matías (Figura V-8), agregando en la parte inferior las formaciones paleozoicas que aflora en Nevati. Los

datos de Ro en San Matías oscilan entre el paleozoico representado por Lutitas Ene, hasta el Cretácico superior, Formación Cachiyacu -Huchpayacu(Figura V-1, Figura V-11).

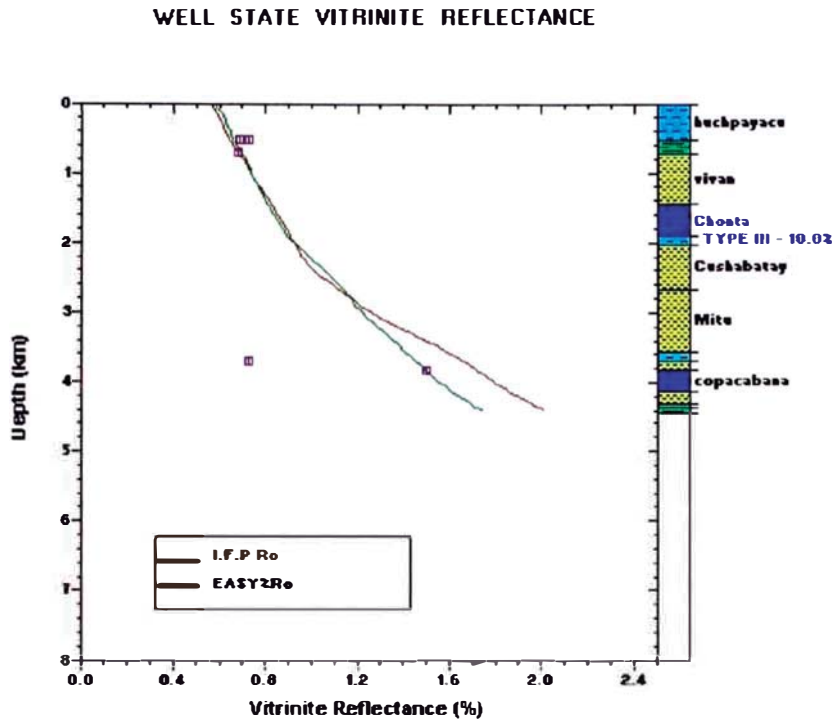


Figura V-11.- Modelización de Ro del pozo ficticio ubicado en la Cordillera de San Matías, (Figura V-1) calibrado a partir de datos de Ro en afloramiento.

5.4.2 Resultados de la modelización

La modelización de la cuenca muestra que los depósitos terciarios registran niveles importantes de erosión en los afloramientos de San Matías con aproximadamente 2700m; y 1500m a nivel del pozo Oxapampa 7-1, a partir del Mioceno Superior, 10 Ma. Estos niveles de erosión podrían confirmar un importante levantamiento en el Neógeno extendiéndose hasta la parte occidental de las Montañas del Shira (Río Nevati). Así como también en el Boquerón del Padre Abad con niveles importantes de erosión en las mismas secuencias.

No existen estudios más detallados de los niveles de erosión regional, pero se presume que este se extendió hasta la parte sur, cuenca Ene, donde también presenta niveles paleozoicos y cretácicos sin sedimentos terciarios (Satipo, Taboreni; Elf - inf Final, 1999).

5.4.2.1 Pozo Oxapampa

A nivel del pozo Oxapampa 7-1, el modelo muestra que las Lutitas Ene entran en ventana de generación de hidrocarburos a partir de Jurasico Medio-superior (160Ma). De la misma manera, entra en ventana de generación de hidrocarburo la Formación Pucara a partir del Eoceno (45Ma), *Figura V-12*. En ambos casos cuentan con un kerogeno de Tipo II, siendo este último determinado por análisis geoquímico de OXY (1999). Asimismo, se puede observar el nivel de subsidencia que afecta a la formación Ene y la columna suprayacente de esta, que juega un papel importante en la generación de hidrocarburos.

La expulsión de HC de rocas paleozoicas comienza a partir del Albiano, 100 Ma (*Figura V-13*). En el Cretácico Superior (70 Ma) estuvo en etapa intermedia y en el Eoceno (40 Ma) hasta la actualidad la expulsión llega a más de 80% ; por el contrario la Formación Pucara no alcanza la temperatura y profundidad necesarias para la expulsión.

Siguiendo estos resultados de la modelización, en la *Figura V-15* se muestra la cantidad de hidrocarburos expulsados en mg HC/g que comienza a partir del Cretácico Medio, 100Ma, y teniendo un pico a los 45Ma, Eoceno, como máxima expulsión.

Finalmente a manera de resumen colocaremos los diferentes datos necesario que nos genero el modelo:

Formación Ene: kerogeno tipo II

Inicio de generación: 160Ma

Inicio de expulsión: 100 Ma

Formación Pucara: Kerogeno tipo II

Inicio de generación: 40 Ma

Inicio de expulsión: no hay expulsión.

Adicionalmente a este pozo 7-1, la compañía Oxy evaluó el pozo **Oxapampa 19-2**, por motivos de falta de información de tal pozo solo señalaremos sus resultados:

Pozo Oxapampa 19-2:

Formación Pucara: Kerogeno tipo II

Inicio de generación: 70 Ma (Cretáceo superior)

Inicio de expulsión: 3Ma (Plioceno)

En un porcentaje menor pasa rápidamente de generación a expulsión de gas. La ventana de generación y expulsión es 63Ma.

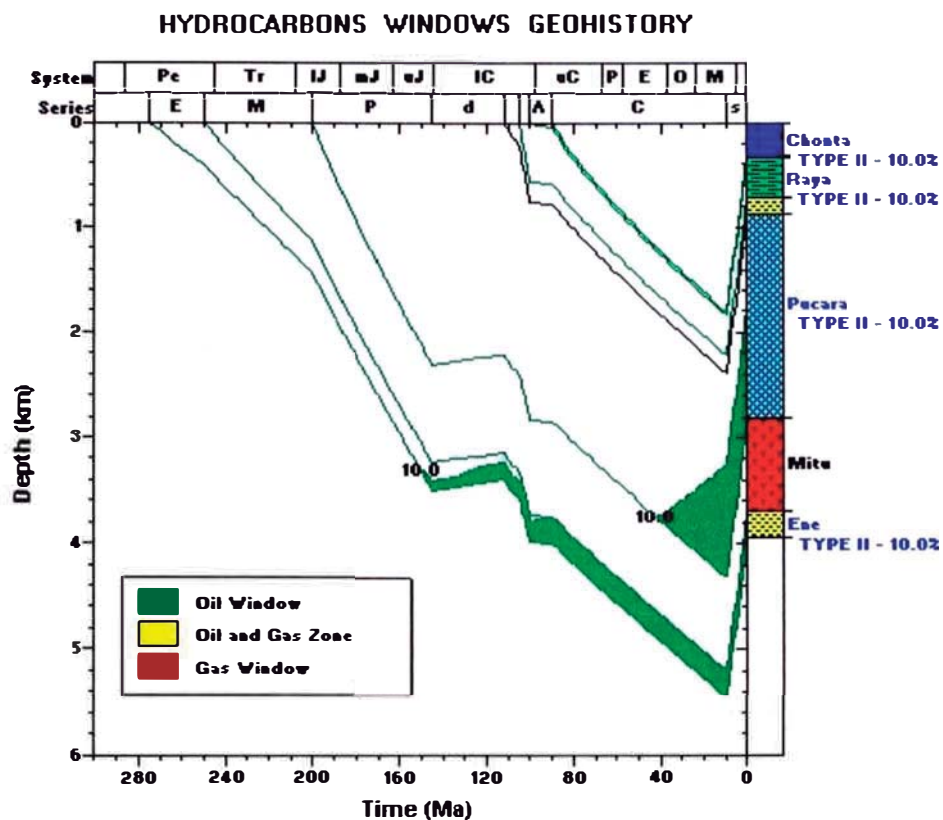


Figura V-12.- Hidrocarburos que entran en ventana de generación, Formación Ene y Grupo Pucara.

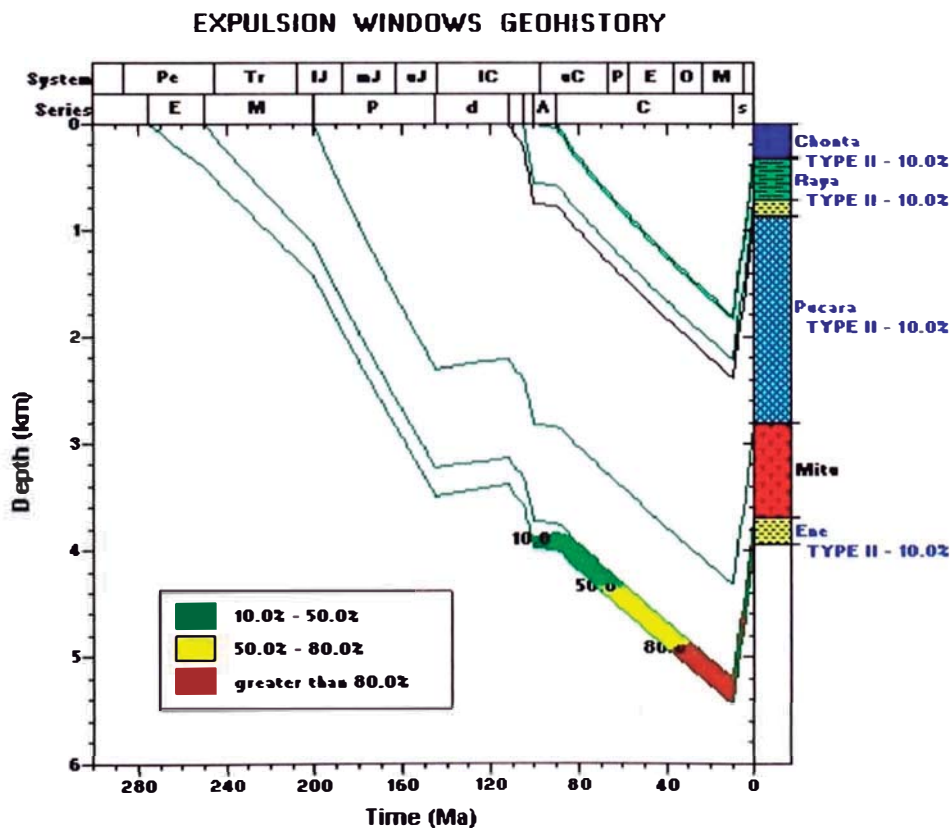


Figura V-13.- Hidrocarburos en ventana de expulsión, notar que la formación Ene es la única que entra en esta fase.

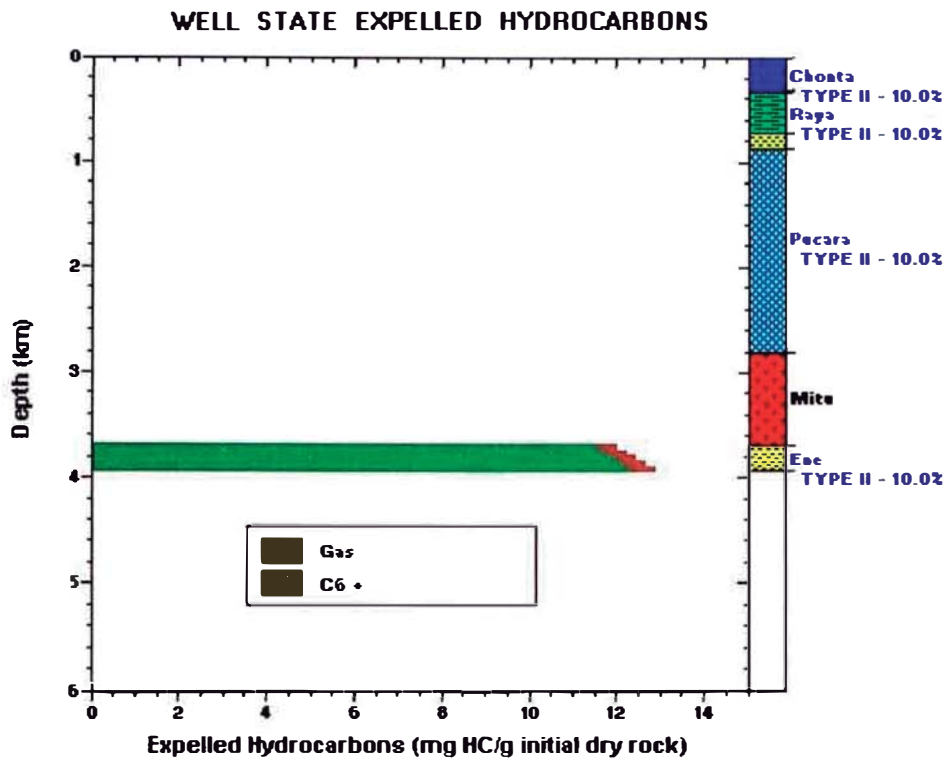


Figura V-14.- Figura que muestra el estado de expulsión de hidrocarburo en el pozo Oxapampa 7-1 en el Cretácico medio 100 Ma.

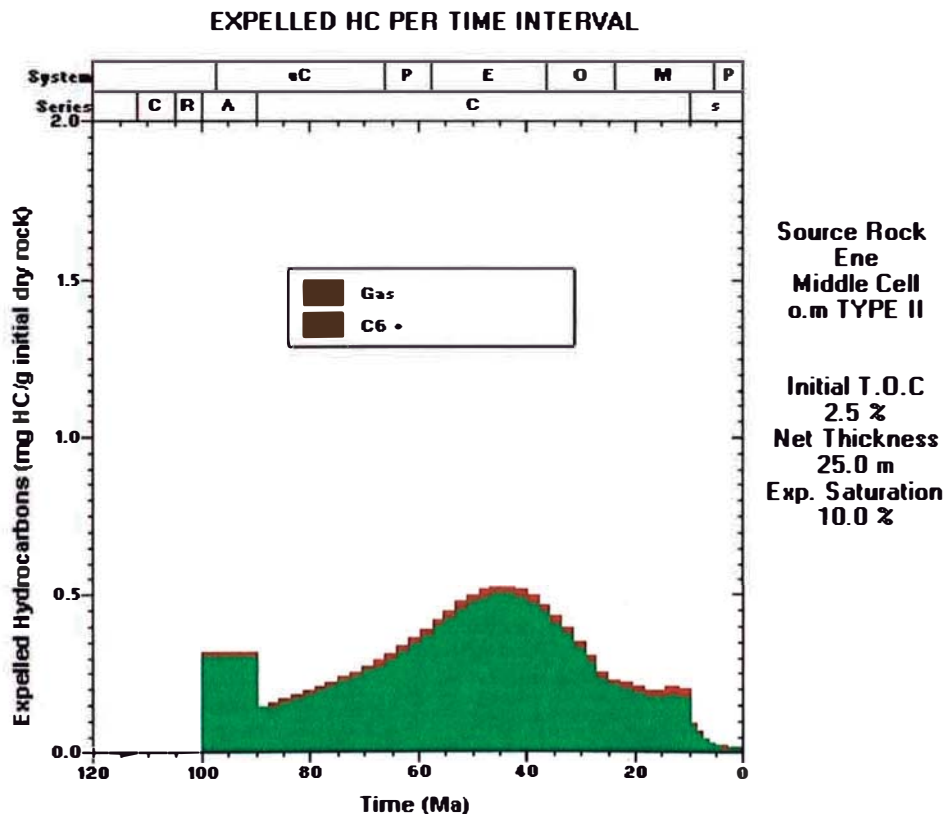


Figura V-15.- Adicionalmente a la figura anterior, esta muestra el tiempo de expulsión de hidrocarburos generados por la Formación Ene.

5.4.2.2 Pozo ficticio, Cordillera de San Matías

Este seudo pozo o pozo ficticio se basa en 05 datos de campo, analizados en la campaña de campo IRD2006 y de datos geoquímicos compilados de la compañía Elf (*Figura V-1*). Los cuales ayudados con la columna estratigráfica de San Matías, levantada en este proyecto, junto con el análisis y resultados de estas muestras y valores de Ro permitieron el calibrado y modelado del dicho seudo pozo (*Figura V-11*).

Desde el punto de vista de generación y migración de hidrocarburos, la modelización nos muestra que las secuencias paleozoicas entran en ventana de generación de petróleo, a partir del Triásico medio (220 Ma) para la Formación Cabanillas, Paleoceno medio (55 Ma) para la Formación Ambo y Paleoceno Medio (60 Ma) para la Formación Ene (*Figura V-16*).

Siguiendo estos resultados de la modelización, la cantidad de hidrocarburos expulsados en mg HC/g (*Figura V-17, Figura V-18*) para la Formación Cabanillas comienza a partir del Albiano (105 Ma) *Figura V-19*, para la Formación Ambo a partir del Oligoceno (25 Ma) *Figura V-20* y para la Formación Ene a partir del Paleoceno (62 Ma) *Figura V-21*.

Finalmente a manera de resumen colocaremos los diferentes datos necesarios que nos genero el modelo:

Formación Cabanillas: kerogeno tipo II

Inicio de generación: 220 Ma

Inicio de expulsión: 105 Ma

Máxima expulsión: 60 Ma

Formación Ambo: kerogeno tipo III

Inicio de generación: 55 Ma

Inicio de expulsión: 25 Ma

Máxima expulsión: 18 Ma

Formación Ene: kerogeno tipo II

Inicio de generación: 60 Ma

Inicio de expulsión: 60 Ma

Máxima expulsión: 45 Ma

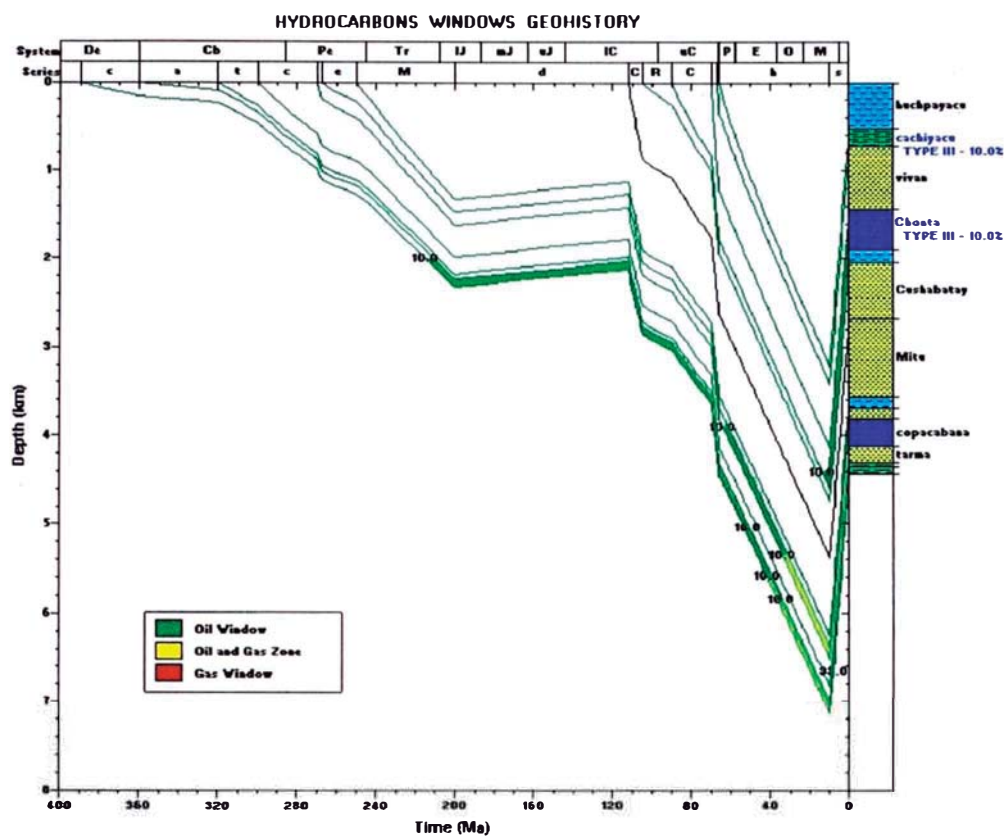


Figura V-16.- Grafico donde se muestra que las rocas paleozoicas de la formación Cabanillas, Ambo y Ene entran en ventana de petróleo.

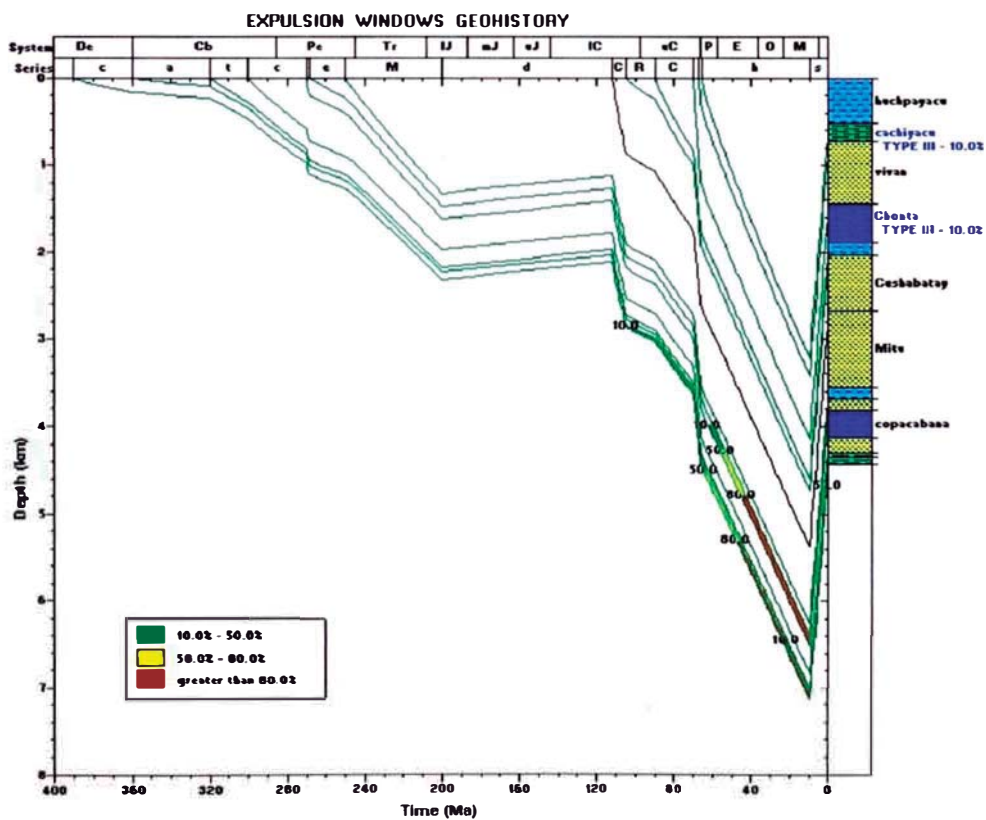


Figura V-17.- Grafico que muestra el inicio de la expulsión de la formaciones paleozoicas.

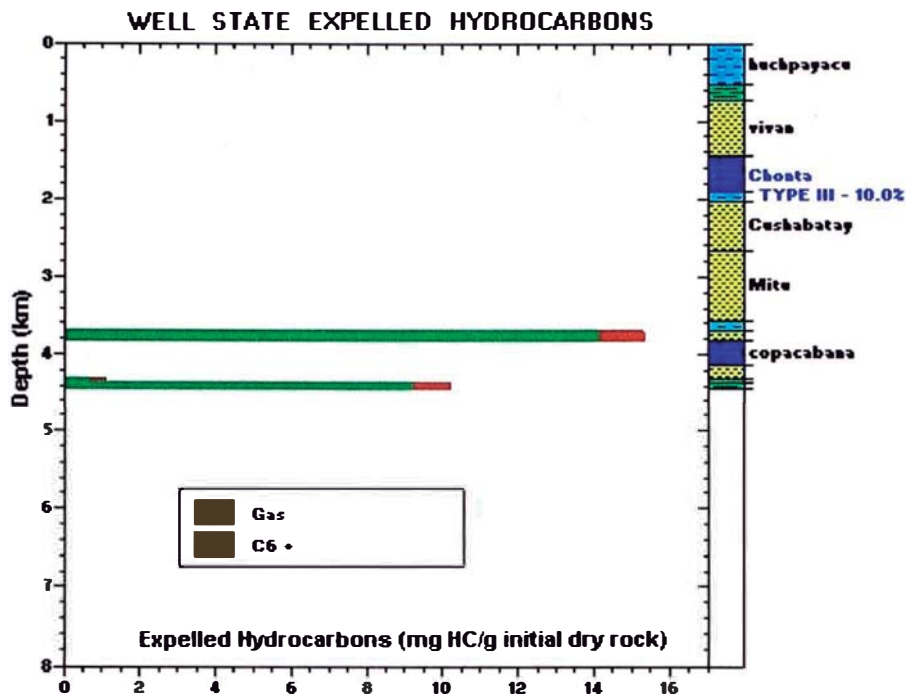


Figura V-18.- muestra el estado e inicio de expulsión de la formación Copacabana, Ambo y Ene. En el Albiano, (105 Ma) para la primera, en el Oligoceno (25 Ma) para la segunda y en el Paleoceno (60 Ma) para la última .

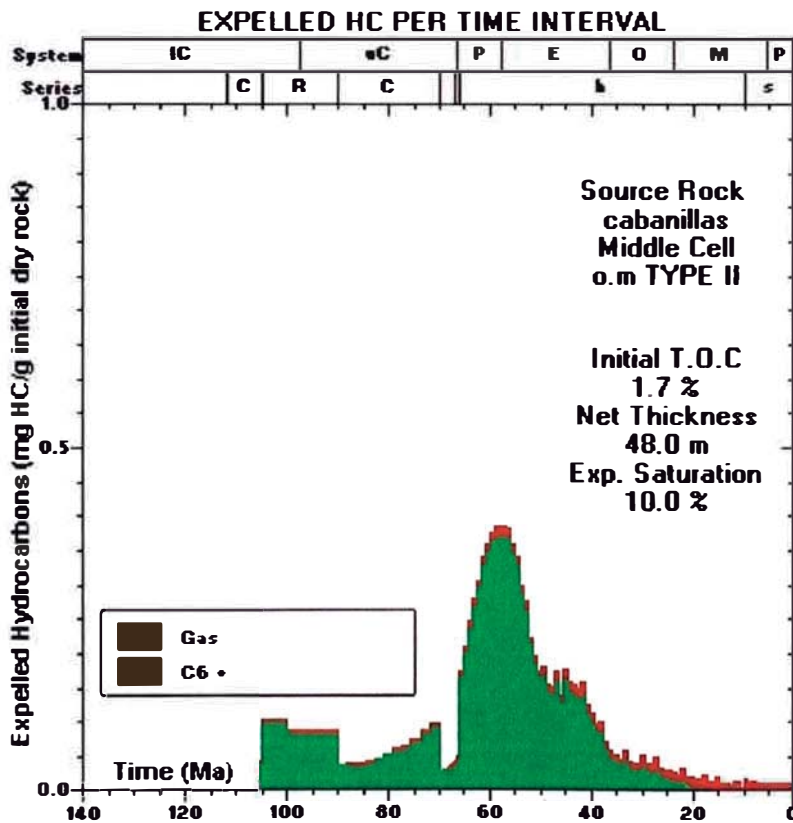


Figura V-19.- Gráfico que muestra el inicio de la expulsión de HC en el Albiano (105 Ma) y su máxima expulsión en el Paleoceno Sup. (55 Ma) de la Formación Cabanillas en el pozo ficticio de San Matías.

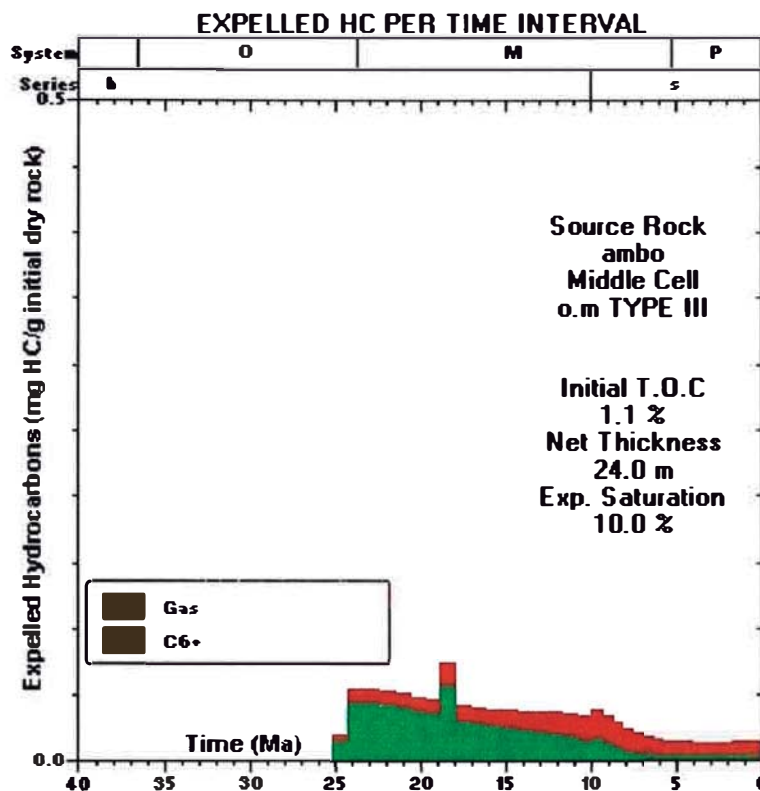


Figura V-20.- Gráfico que muestra el inicio de la expulsión en el Oligoceno (25 Ma) y su máxima expulsión en el Mioceno (18 Ma) de la Formación Ambo.

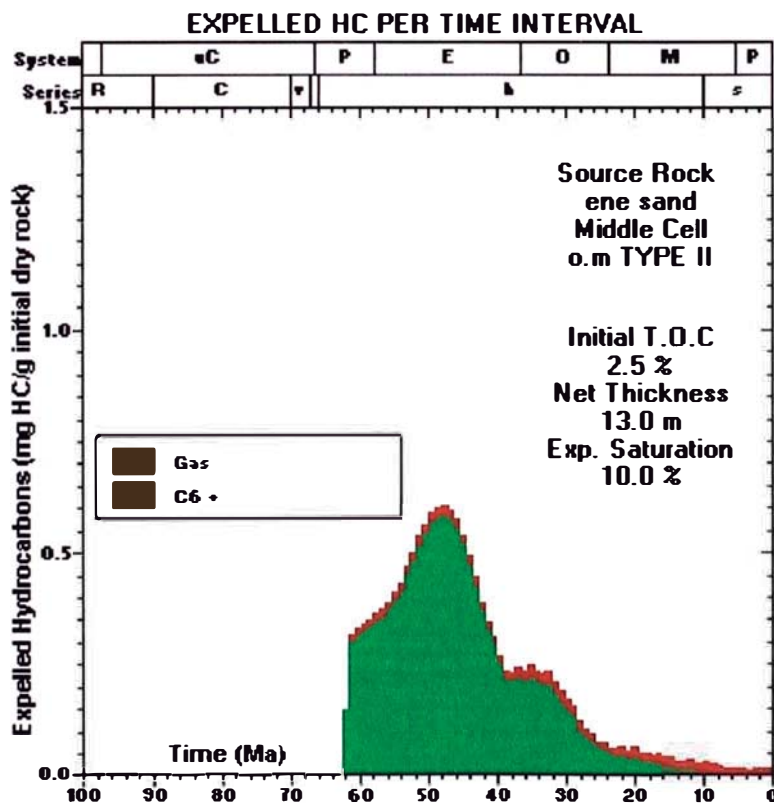


Figura V-21.- Gráfico que muestra el inicio de la expulsión en el Paleoceno(62 Ma) y su máxima expulsión en el Eoceno (50 Ma) de la Formación Ene.

5.5 Conclusiones

El pozo Oxapamapa 7-1 y el pozo ficticio de San Matías no registran secuencias terciarias. En el caso del pozo Oxapampa 7-1 aflora directamente la Formación Chonta y en el caso del pozo ficticio hasta la formación Hushpayacu (cretácico superior). Esto está relacionado a la etapa de deformación y levantamiento de la cuenca a partir del Mioceno (10 Ma) generando una erosión de 2700m en la cordillera de San Matías y a nivel del pozo Oxapampa 7-1 de 1500m (*Figura V-13, Figura V-17*). Este mismo periodo de erosión se encuentra en el pozo San Alejandro y en el Boquerón del Padre abad, mayores a ~ 1600m (Modelaje Pozos San Alejandro y Boquerón: Minaya, 2006).

A nivel de las rocas generadoras en la Sub-Cuenca Pachitea, según los datos de campo, la información recopilada y los resultados de las modelizaciones, las formaciones paleozoicas Cabanillas, Ambo y Ene presenta mayor potencial generador de hidrocarburos que el grupo Pucara, entrando en ventana de generación, mientras que el Grupo Pucara no. Este echo se somete a discusión ya que en la parte norte de la cuenca Ucayali, al nivel del pozo San Alejandro, las modelizaciones de pozo (Modelaje Pozos San Alejandro y Boquerón: Minaya, 2006 en IRD- Perupetro) arrojan al Pucara en ventana de generación junto con secuencias paleozoicas, pero a nivel de la Sub-cuenca Pachitea esta es pobre.

Del modelo de generación de hidrocarburos paleozoico Cabanillas, Ambo y Ene. La Formación Ene, en el anticlinal de Isozacín, Pozo Oxapampa 7-1 y en los afloramientos de San Matías representa la roca madre paleozoica con más análisis geoquímicos registrados que las demás. Por tanto es la que dio evidencias de la existencia de sistemas de petroleros paleozoicos, basados en el único valor obtenido de TOC y Ro alto, correspondiente a los niveles inferiores de la Fm. Ene, que según la nomenclatura de Pluspetrol se le atribuye, miembro Shinai? Por lo que esta deberá de ser confirmada en trabajos posteriores.

CAPITULO VI

| | |
|--|------------|
| CÁPITULO VI POTENCIAL EXPLORATORIO Y NUEVOS PLAY DE EXPLORACIÓN | 125 |
| 6.1 INTRODUCCIÓN | 125 |
| 6.2 GENERALIDADES..... | 127 |
| 6.2.1 Sistema Petrolifero | 128 |
| 6.2.1.1 Elementos que forman un sistema petrolifero:..... | 128 |
| 6.2.1.2 Procesos de un sistema petrolifero:..... | 128 |
| 6.3 SISTEMA DE PETRÓLEO DE LA SUB-CUENCA PACHITEA | 129 |
| 6.3.1 Elementos..... | 129 |
| 6.3.1.1 Roca Madre | 129 |
| 6.3.1.1.1 Paleozoico | 129 |
| 6.3.1.1.2 Jurasico..... | 130 |
| 6.3.1.1.3 Cretácico | 131 |
| 6.3.1.2 Rocas reservorios | 131 |
| 6.3.1.3 Rocas Sellos | 135 |
| 6.3.2 Procesos..... | 137 |
| 6.3.2.1 Trampas estructurales | 137 |
| 6.3.2.2 Tiempo de generación/ migración/ entrapamiento..... | 138 |
| 6.4 PROPUESTAS DE NUEVOS PLAYS DE EXPLORACIÓN | 139 |

CÁPITULO VI POTENCIAL EXPLORATORIO Y NUEVOS PLAY DE EXPLORACIÓN

6.1 Introducción

Las cuencas subandinas durante tiempo han sido tema de interés tanto económico como de estudios de investigación, estas áreas actualmente representan un gran potencial de hidrocarburos en todo Sudamérica, un ejemplo claro son los yacimientos de gas de Camisea (Perú) y de Tarija (Bolivia). Zonas donde existieron evidencias de afloramientos ya han sido explotadas, por lo que ahora la dirección de las exploraciones es de mayor riesgo. Estructuras complejas desarrolladas en el subandino, cuencas de antepais, son en día los nuevos blancos de exploración de las compañías petroleras.

El Perú, a lo largo de su historia ha incursionado en la exploración y explotación de campos petroleros sumando una producción de líquidos de **120,300 BOPD** y gas de **119 MMCFD**, del cual, en la cuenca Ucayali asciende al 33% de la producción total de petróleo: **40,103 BOPD** y el 23% de gas con **158 MMCFD (Camisea)**; fuente: PERUPETRO 2007. Lo cual es distribuido en dos grandes áreas de la cuenca Ucayali: Ucayali Norte con **4,058 BPD** y **45 MMCFD**; y Ucayali Sur con **36,044 BPD** y **114 MMCFD**. En este panorama se desarrolla la Sub-Cuenca Pachitea, la que actualmente tiene un contrato de exploración y explotación con la compañía PETROLIFERA y un lote de promoción, el 131 al este del primero.

Parte de esta herencia hidrocarburífera se observa en toda la extensión nortesur de la cuenca Pachitea (*Figura VI-1*). Al norte de la misma, terminación norte del Shira, tenemos el campo de Agua Caliente con 37"-44" API y trazas de gas en los pozos Neshuya y Chio IX. Un poco al sur, parte noroccidental del Shira, encontramos tres oil seep donde uno de ellos cuenta con 31" API. Mientras que más al sur, dos pozos detectan niveles de gas, los pozos Oxapampa 19-1 y 19-2. El primero a más de 1200m y el segundo a más de 1350m (*Figura VI-2*), ambos en la Formación Cushabatay. Por consiguiente, estas estructuras favorables que se encuentran en la Cuenca Ucayali Norte también se encuentran más al sur, las cuales todavía no han sido bien documentadas hasta la fecha, producto de las diferentes interpretaciones de la estratigrafía de la zona y a su relativo acceso.

La Sub-cuenca Pachitea se halla en un estado inicial de exploración, habiéndose perforado solamente 05 pozos por parte de CERROPET (Cerro de Pasco Petroleum Corporation) y con escasas 3 secciones sísmicas equivalentes a 71km en la parte sur del Pachitea, Cordillera de San Matías. Esta alberga secuencias sedimentarias prospectivas como roca madre, reservorio y sello que van desde el Paleozoico hasta el Terciario con la existencia de tres sistemas de petróleo, dos paleozoicas de las cuales una de ellas presenta características similares a los campos de Camisea; y finalmente, un tercer sistema con características a los campos de Ucayali norte.

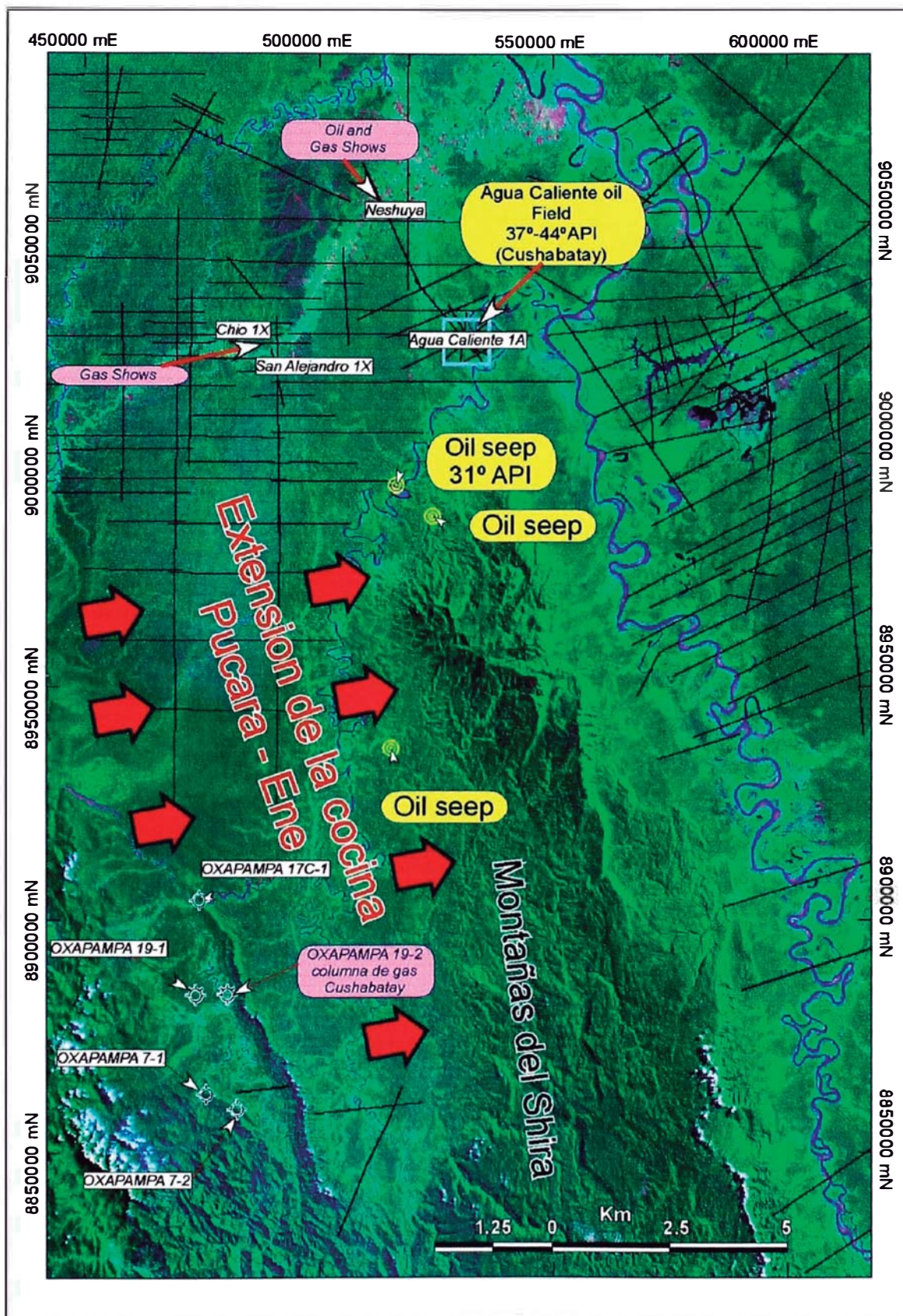


Figura VI-1.- Mapa satelital Landsat mostrando los campos de hidrocarburos en la Cuenca Pachitea, los oil seep y la disposición de la cocina de la cuenca

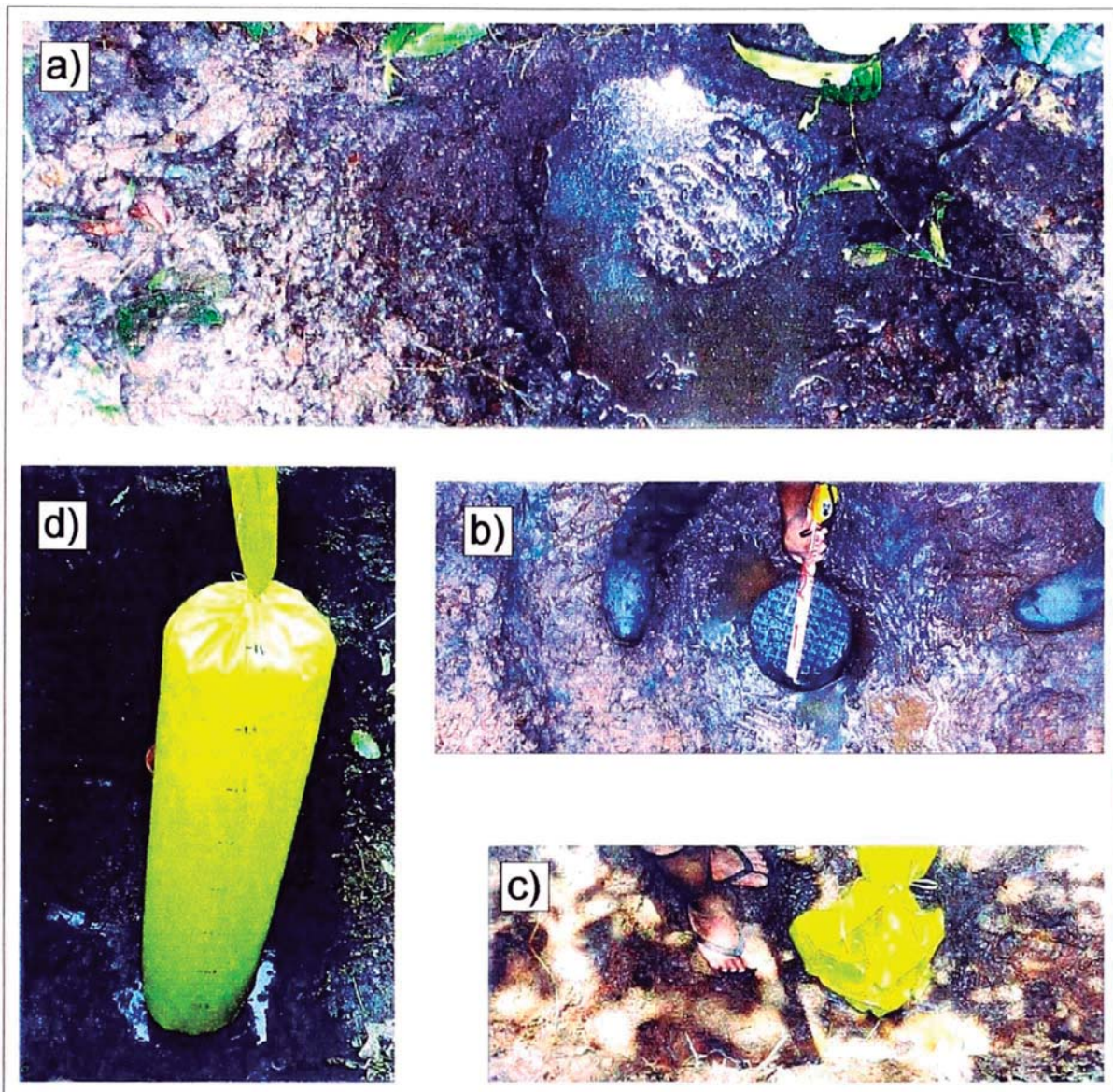


Figura VI-2.- Fotografías de reconocimiento del pozo Oxapampa 19-1 por PANENERGY (1998); a) fotografía que muestra remanentes de gas en el pozo, b) tapa del “casing” del pozo, c) y d) prueba inicial y final del llenado de una muestra de gas para análisis por cromatografía.

6.2 Generalidades

El concepto más utilizado en la industria del petróleo para entender el potencial de hidrocarburos exploratorio en una región, es el sistema petrolero. Esta plantea diversos conceptos que han evolucionado con los adelantos en la geoquímica orgánica y los sistemas computacionales. Recientemente, el concepto de Sistema Petrolífero (Perrodon, 1992; Magoon, 1988, 1994, 1995) ha demostrado ser de gran utilidad para orientar la exploración de petróleo y disminuir los altos riesgos de esta (Demaison y Perrodon, 1994; Dow, 1994). Todo esto, sumado a los avances de los sistemas de información geográfica SIG, nos permite orientar y dirigir proyectos de exploración. Es decir, su gran importancia radica en facilitar la gestión de la información geográfica y geológica, el despliegue de mapas temáticos y la cartografía de los elementos del sistema petrolero, los mismos que son abordados en este estudio (ver más detalle de la estructura del GIS, metodología, capítulo I).

6.2.1 Sistema Petrolífero

Es un sistema natural que comprende un volumen de roca fuente madura de hidrocarburos así como todo el petróleo y gas generado de dicha roca y que esta presente en acumulaciones comerciales y no comerciales. Un sistema petrolífero incluye todos los **elementos** y **procesos** geológicos que son esenciales para que un depósito de crudo y gas exista (Magoon y Dow, 1994). Las siguientes definiciones de términos relacionados con el concepto de sistema petrolífero han sido tomadas de Magoon y Dow (1994). El término sistema se refiere a los elementos interdependientes y procesos que forman la unidad funcional que crea la acumulación de hidrocarburos.

6.2.1.1 Elementos que forman un sistema petrolífero:

1. **Roca fuente de petróleo:** aquella que está generando o ha generado y expulsado petróleo. La roca fuente necesita haber estado sometida a un calentamiento durante un lapso de tiempo geológico para alcanzar madurez termal para generar hidrocarburos.
2. **Roca almacenadora de petróleo:** aquella que almacena el petróleo. El petróleo es almacenado en los poros de esta roca.
3. **Roca sello:** aquella que impide que el petróleo se escape de las trampas donde se ha acumulado. Las trampas son los sitios donde existe una disposición geométrica convexa de la roca almacenadora y de la roca sello que favorece la acumulación del petróleo e impide que este escape hacia arriba o hacia los lados.
4. **Roca de sobrecarga (carga litostática):** aquella que cubre a la roca fuente y causa su enterramiento a una profundidad tal que se den las condiciones de temperatura necesarias para que se genere petróleo a partir de la materia orgánica contenida en la roca fuente.

6.2.1.2 Procesos de un sistema petrolífero:

1. **Formación de las trampas,** incluye todos los procesos que producen la disposición geométrica favorable para que el petróleo quede acumulado y atrapado en ellas. Estos procesos son deformación de las rocas en el caso de trampas estructurales y procesos sedimentarios y diagenéticos en el caso de trampas estratigráficas.
2. **Generación de hidrocarburos,** proceso mediante el cual la materia orgánica contenida en la roca fuente es convertida en hidrocarburos por la acción del aumento de temperatura y del tiempo.
3. **Migración de los hidrocarburos,** procesos de movimiento o flujo de los hidrocarburos desde la roca fuente donde son originados hasta la trampa donde son acumulados.
4. **Acumulación de hidrocarburos en las trampas.** Resultado de la migración de hidrocarburos hacia las zonas geométricas favorables, trampas.

Un sistema petrolífero existe donde se sabe que ocurren todos estos elementos y procesos esenciales o donde se piensa que hay buenas posibilidades de que ocurran.

El nombre de un sistema petrolero incluye la roca generadora, seguido del nombre de la roca reservorio principal y el símbolo expresa su nivel de certeza (Magoon et al., 1994). En nuestro caso es hipotético “(.)” ya que todavía no han sido contrastado.

6.3 Sistema de petróleo de la Sub-cuenca Pachitea

La Sub-cuenca Pachitea definida como una cuenca de antepais, presenta un conjunto de elementos y procesos que nos da los indicios para que exista un sistema petrolero según las condiciones necesarias mencionadas por Magoon (1994). Las rocas madres y rocas reservorios que van desde el Paleozoico hasta el Cretácico superior han sido poco estudiadas y por tanto son escasos los análisis sobre ellos.

El capítulo anterior, modelamiento de cuenca, nos permitirá caracterizar a estos importantes elementos del sistema petrolero, así como los datos compilados hasta la fecha de diferentes informes de evaluación de cuenca y trabajos de compañías que han incursionado en estas zonas. Por otro lado el capítulo III correspondiente a la sección restaurada junto con el capítulo IV de la nueva estratigrafía permitirá conocer los procesos que han afectado en la cuenca, su dinámica y la formación de estructuras favorables necesarias para ser evaluadas como posibles prospectos.

Existen tres sistemas de petróleo bien marcado en la Sub Cuenca Pachitea, del cual solo se conoce por las secciones sísmicas que cruzan de W-E y no se ha determinado su extensión lateral siendo difícil su separación:

- Pucara – Cushabatay (.) (parte Norte)
- Lutitas Ene – Eólico Ene (.) (Parte Sur)
- Cabanillas, Ambo – Tarma (.) (Parte SurEste)

La formación Ene a nivel de San Matías se comporta como roca generadora (Lutitas Ene) y roca almacén (Eólico Ene). En la *Figura VI-4* se observa los sistemas de petróleo que se desarrollan en la Sub-Cuenca Pachitea.

6.3.1 Elementos

6.3.1.1 Roca Madre

Las características de las rocas generadoras son poco conocidas debido a que todas las unidades potenciales no son alcanzadas en las perforaciones de los 05 pozos de la Sub-Cuenca Pachitea, de la misma manera, son escasos los datos en la literatura, cubriendo parcialmente este vacío, los análisis geoquímicos de muestras que realizamos en la campaña de campo IRD206 y los datos compilados por ELF y PETROPERU (ver capítulo V).

6.3.1.1.1 Paleozoico

En el subandino, el Paleozoico presenta buenas propiedades como roca generadora. Los análisis indican que las mejores unidades como roca madre en San Matías son las lutitas Ene . Por otro lado, la Formación Cabanillas y Ambo presenta

también niveles ricos de materia orgánica; pero a nivel de San Matías no se encuentra aflorando.

Formación Cabanillas:

La falta de análisis geoquímicos y el no ser encontrado en pozo ni afloramiento no permite evaluar su potencial petrolífero. Sin embargo en el flanco oriental de las Montañas del Shira, Nevati, la compañía ELF (ver *Figura V-4 y Figura V-1*) realizó análisis de TOC y Ro resultado valores que oscilan entre 0.06 - 1.71% y 0.75 de Ro, respectivamente. Los cuales tienen buena calidad de kerogeno, madura, con potencial de generación de petróleo. El espesor de esta formación a nivel de Nevati asciende a 80m.

Solo a nivel de las secciones sísmicas se puede seguir esta formación, siendo una de las potenciales rocas madres de esta cuenca, aún por descubrir.

Formación Ambo:

Al igual que la Formación Cabanillas, esta también aflora en Nevati, (ver *Figura V-4 y Figura V-1*). ELF realizó análisis de TOC y Ro los cuales oscilan entre los 0.7-1.06% y 0.5 de Ro respectivamente, los cuales tienen buena calidad de kerogeno, madura, con potencial de generación petróleo. El espesor de la Formación Ambo es de 48m.

En San Matías, en las dos secciones sísmicas, al oeste del Shira, es posible seguir esta formación por debajo de la Formación Cabanillas.

Formación Ene:

Esta formación que en la base está compuesta por lutitas negras (Lutitas Ene) con alto contenido de materia orgánica es la principal roca generadora que afloran en San Matías. Un dato de análisis geoquímico (ver capítulo V) indica con valor bueno de TOC: 2.49 wt%, Ro: +1.5, S2: 1.27 y Tmax : 453 resultando como potencial de generar Petróleo – Gas y madurez termal: post madura, con kerogeno tipo II. El espesor de esta formación se estima superior a 25 m, ya que no se ha determinado su valor en la quebrada La Encantada, Río Gavilan, localidad donde se encontró.

Su extensión no se ha podido delimitar por la falta de mayores trabajos en la zona y a nivel de los pozos perforados no se tiene ningún dato ya que no ha sido reportado.

6.3.1.1.2 Jurásico

Grupo Pucara

Este juega un papel importante en la parte norte de la Sub-Cuenca Pachitea, es rica en materia orgánica. No obstante esta no afloran en nuestra cuenca de estudio, más bien este es reportado por los pozos Chio IX y San Alejandro IX.

A nivel del Río Aguaytia, OXY realizó análisis de muestras de campo con valores de TOC de 0.61% y Ro de 1.8, resultando con potencial de petróleo: medio; y una madurez termal de: post-madura.

Esta Formación no aflora en el Pachitea pero es reportado en los pozos Oxapampa, siendo el El pozo Oxapampa 7-1 (*Figura VI-1*) en los 900 m aproximadamente el que cuenca con información geoquímica; donde sus valores de TOC oscilan de 0.2 – 2.25% , resultando que tiene un potencial de petróleo de pobre a muy bueno.

De oeste a este (*Figura VI-4*) el Grupo Pucara desaparece, llegando en el subsuelo hasta el sinclinal de Iscozacín, según la sección sísmica de ELF 96-12 (ver capítulo III). Al norte, es difícil seguirlo debido a que no hay un control sobre las secuencias sedimentarias y solo se interpreta a través de horizontes reflectores de las secciones sísmicas.

6.3.1.1.3 Cretácico

El Cretácico presenta dos formaciones que tienen niveles bajos de materia orgánica pero han sido durante mucho tiempo estudiadas debido a su escasa profundidad. Los cuales son: la Formación Chonta y la Formación Cashiyacu.

La primera reportada en todos los pozos Oxapampa; el cual a nivel del Pozo Oxapampa 7-1 presenta niveles de TOC de 0.12-0.22 que indican un potencial de petróleo muy pobre. De la misma manera, en la muestra PAC076 de la nuestra campaña IRD2006 se tienen valores de TOC y Ro de 0.14 y 0.9 respectivamente los cuales tampoco representan niveles importantes.

La Formación Cachiyacu también presenta algunos niveles de roca generadora pero al igual que la formación Chonta son pobres y por lo tanto no participan en los sistemas de petróleo principal.

6.3.1.2 Rocas reservorios

Hasta la fecha no se han realizado análisis de rocas reservorios en los afloramientos de San Matías. Pero a nivel de afloramiento de estas, se puede dar algunos alcances de la porosidad visual de los mismos, de los cuales por correlación con las partes norte y sur (Puente Paucartambo), se puede inferir ciertas similitudes. Hay que hacer la salvedad que la formación Sarayaquillo no se ha logrado identificar en San Matías, ni en el las secciones sísmicas que lo circundan, pero al norte del mismo es probable encontrarlo. Siendo esta también un buen reservorio.

Formación Tarma:

Esta formación aflora en Nevati, y es reportado por ELF (Inf. Final, 1999). Cuenta con una columna de areniscas verdes (*Figura V-6*) con estructuras tipo “cross bedded” de grano medio e intercalaciones de niveles finos, presentando un espesor de 178m.

En San Matías, en las secciones sísmicas los reflectores indican una continuidad de la formación, debajo de la Formación Copacabana, prestándose todavía a interpretación en la parte más occidental, flanco occidental de San Matías.

Aunque no se encuentra aflorando en San Matías, presenta una probable roca reservorio que todavía no se ha analizado en detalle.

Formación Ene, Ene eólico:

Esta formación que está suprayaciendo a las lutitas Ene. Presenta una columna de areniscas de grano fino a medio de aproximadamente de 126 m de espesor. Esta en contacto flotante entre granos con puntos blancos de probable origen volcánico en su matriz. Actualmente se espera los resultados de laboratorio de la petrografía de la misma. Pese a ello, se observó una porosidad visual regular a media.

Por otro lado, estas areniscas presentan en su matriz laminas paralelas con niveles de materia orgánica de color negro (*Foto VI-1*), los cuales según los análisis geoquímicos (PETROLIFERA) realizados a esta muestra (PAC033) confirman la presencia de hidrocarburos. La *Tabla VI-1* muestra los resultados obtenidos de estos análisis por cromatografía de gases.

Estos análisis de cromatografía de gases nos indican la composición de nuestro petróleo y por tanto marca una huella digital a nuestro hidrocarburo. Faltando todavía verificar tales resultados con más muestras.

| EGC parameters | | EGC parameters | |
|------------------------------------|------|--------------------------------|------|
| <u>Ratios</u> | | <u>Resolved Components (%)</u> | |
| Pristane/Phytane | 0.93 | Normal Paraffins | 5.9 |
| Pristane/nC ₁₇ | 0.75 | Isoprenoids | 0.5 |
| Phytane/nC ₁₈ | 0.48 | Resolved unknowns | 93.6 |
| nC ₁₈ /nC ₁₉ | 1.05 | | |
| nC ₁₇ /nC ₂₉ | 0.80 | | |
| CPI Marzi ⁴ | 0.61 | | |

Tabla VI-1.- parámetros que intervinieron en la caracterización de la materia orgánica del PAC033



Foto VI-1 Areniscas eólica de la formación Ene, ubicado en el punto: Pac033, carretera a San Matías, mostrando los niveles negros analizados por cromatografía (© IRD / P. Baby)

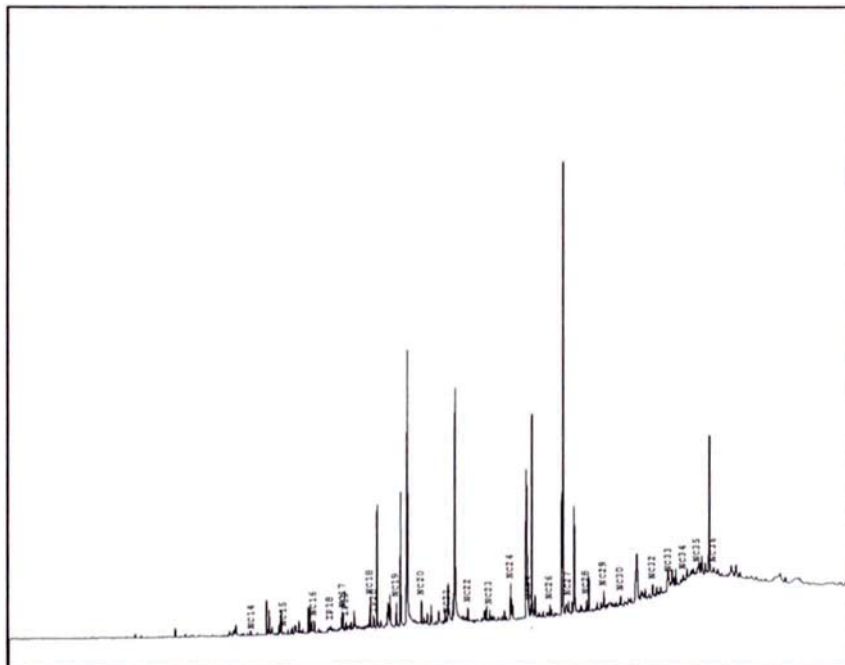


Figura VI-3 Cromatograma donde muestra las abundancia de los componentes de HC de la muestra PAC033, los picos muestran los contenidos y tipo de HC de la muestra.

Formación Cushabatay

La Formación Cushabatay presenta buenas características para ser considerada roca reservorio. Está caracterizada por niveles de areniscas finas en contacto flotante, masivas de grano grueso y de medio fluvial (*Foto VI-2*). Dentro de la matriz al igual que las formaciones infrayacentes, cuenta con puntos blanquecinos (niveles volcánicos). Visualmente presenta una porosidad baja a media, se encuentra en bancos y cuenta con un espesor de 640 m

Se extiende en todo el subandino, y es un buen reservorio por la calidad de su formación. Según los datos de OXY (2003), en la zona de Boquerón del Padre Abad y la parte norte del mismo, los análisis petrográficos arrojan valores de porosidad que fluctúan entre 10 y 16%, y permeabilidades razonables (Reporte final OXY, 2003). Mientras que al sur, en Puente Paucartambo, estas secuencias se presentan encima de la Formación Sarayaquillo con aproximadamente 500m de espesor (Según Jaillard, 1996) con buena porosidad. No obstante, es considerado el principal objetivo como reservorio en los estudios de campo.

En base a estos resultados, en el área de estudio, la Formación Cuchabatay presenta características afines a las descritas anteriormente, sus areniscas con facies conglomeraticas presentan buena porosidad y permeabilidad la cual la hace buen objetivo en la búsqueda de hidrocarburos.



Foto VI-2.- Areniscas de la Formación Cushabatay con niveles conglomeraticos que aumenta su porosidad. (© IRD / P. Baby)

6.3.1.3 Rocas Sellos

Dentro de los tres sistemas de petróleo encontrados en la Sub-Cuenca Pachitea: (Pucara-Cushabatay), (Lutitas Ene- Ene eólico) y (Cabanillas, Ambo -Tarma), existen diferentes secuencias de finos que actúan como sellos, e éstas se observan a lo largo de la columna estratigráfica de W a E (*Figura VI-4*).

Para nuestro primer sistema (Pucara – Cushabatay) el sello estaría dado por dos formaciones, en orden del más antiguo al más joven: la Formación Raya, que está compuesta de lutitas rojas con alguna facie de calizas finas. (ver *Figura V-2*, pozo Oxapampa 7-1); y por la Formación Chonta, que está compuesta de calizas gris con intercalaciones de lutitas y algunas facies areniscosas. Estas dos formaciones están presentes a nivel del anticlinal de Izcozacín.

Para nuestro segundo sistema (Lutitas Ene – Ene eólico), esta sería sellada por el tope de la Formación Ene, compuestas por lutitas y calizas rojas (*Figura VI-4*) con aproximadamente 128m. Estas lutitas y calizas rojas sobreyacen al eólico Ene y fue registrado en los afloramientos de San Matías con el PA 035, 037 y 038 (ver capítulo IV, sección estratigráfica).

Finalmente para nuestro último sistema (Cabanillas, Ambo -Tarma), el sello de este sistema estaría compuesto por la caliza y facies finas de la Formación Copacabana, que sobreyace a la Formación Tarma y representa un gran paquete sedimentario de espesor de 316m (*Figura V-6, capítulo V*).

6.3.2 Procesos

6.3.2.1 Trampas estructurales

La búsqueda de estructuras importantes en la cuenca Pachitea es relativamente compleja debido a su poca información. Las trampas estructurales desarrolladas en la misma se relacionan con la estructuración y pre-estructuración de la cuenca y por ello el conocer de su historia y paleogeografía es pieza clave para armar el rompecabezas de su sistema petrolero.

Encontramos en esta, a la vez, secuencias más antiguas que el mismo antepaís, el cual es evidencia de que existió una gran cuenca paleozoica, siendo corroborada por los reportes de pozos en todo el subandino. La identificación de las probables trampas se restringe hasta la fecha en el análisis de las secciones sísmicas; ya que son insuficientes los datos de superficie, siendo estas revisadas en el capítulo III el cual nos da un panorama de la estructuración de la cuenca.

De norte a sur, existe un dominio estructural compresional con inversiones tectónicas a nivel de rocas precámbricas, siendo estas principalmente: al norte con las estructuras de Aguaytia y Agua Caliente; y al sur con los corrimientos frontales de San Matías.

De las primeras, Aguaytia, con producción de gas y condensados está alojado en una trampa estructural de tipo anticlinal producto de una anticlinal de rampa y como roca reservorio la formación Cushabatay. En el caso de Agua Caliente, con producción de petróleo, está alojado en una trampa estructural de tipo domo, producto de una inversión de semi-graben posiblemente Ordovícico (W.Hermoza: Reporte técnico Cuenca Ucayali, 2005) y como roca reservorio la Formación Cushabatay y Raya.

En la parte sur, cordillera de San Matías, esta también tiene las características de la tectónica compresiva con inversión de secuencias paleozoicas. Es a este nivel, en la terminación norte del San Matías, que se desarrollan anticlinales producto de los corrimientos frontales de edades neógenas que serían típicos de un anticlinal de flexión de falla. Debajo de estos corrimientos se pueden esconder estructuras de inversión de grabenes los cuales podrían ser posibles trampas ya que cuenta con niveles paleozoicos como roca generadora y reservorio (*Figura VI-4*).

6.3.2.2 Tiempo de generación/ migración/ entrapamiento

El modelamiento de cuenca (capítulo V) con el software GENEX a partir de los dos pozos simulados (Oxapampa 7-1 y pozo ficticio con datos de campo) nos permite predecir las condiciones termales donde los hidrocarburos se generaron y preservaron. Además, provee información para la reconstrucción de la historia tectónica y deposicional.

A nivel de la parte sur del Pachitea, a partir de los 160 Ma, Jurásico, hasta los 10 Ma, Mioceno superior, se desarrolla una importante subsidencia en la cuenca (*Figura V-10*), la cual afecta en mayor importancia a las secuencias paleozoicas. Después de esta subsidencia a partir del Mioceno superior, 10 Ma, hasta la actualidad se desarrolla un levantamiento de la cuenca, lo cual es evidenciado por la erosión del terciario en la cordillera de San Matías y el anticlinal de Iscozacín.

De los sistemas de petróleo hipotéticos en la Sub-Cuenca Pachitea se reconocen dos fases de generación de hidrocarburo. Es hipotético debido a que no se ha realizado una correlación geoquímica de la roca fuente paleozoica con el petróleo de los yacimientos de Ucayali Norte.

En la primera fase, el sistema de petróleo Lutitas Ene – Ene eólico y Cabanillas, Ambo-Tarma empieza a principios del Jurásico Superior 160 Ma (ver *Figura V-10*), se encuentra a mayor profundidad y por ende tiene mayor espesor de sobrecarga. No obstante, las estructuras en este periodo no se desarrollan o son escasas. Mientras tanto, las estructuras desarrolladas por inversión tectónica debajo de estos corrimientos, en el Neógeno, son propicias para entrapar el hidrocarburo, teniendo como evidencia en afloramiento el eólico Ene que contiene trazas de petróleo dentro de su matriz. Posteriormente en el Mioceno, también se experimenta junto con el levantamiento de la cuenca niveles de erosión del orden de los 2700 m en la Cordillera de San Matías (ver *Figura V-9*).

En la segunda fase, a nivel del pozo Oxapampa 7-1, el Sistema de petróleo Pucara – Cushabatay empieza a entrar en ventana de generación de hidrocarburos a principios del Eoceno 40 Ma, con una columna estratigráfica relativamente profunda (ver *Figura V-10*). En este periodo, las estructuras son muy raras y se podría asumir en estructuras de sal ya que dicha formación presenta niveles de Anhidrita y Halita. Posteriormente en el Mioceno se presenta niveles de erosión por causa del levantamiento tectónico de la cuenca (ver *Figura V-7*), eliminando 1500 m de sedimentos terciarios. Su extensión se prolongaría en la parte oeste del flanco de la Cordillera de San Matías hasta la parte norte de la Sub-Cuenca Pachitea.

Las modelizaciones de la Sub-Cuenca Pachitea sur, incorporando datos de “Rock Eval” y de secciones restauradas indican que las cocinas se extienden de Sur a Norte (*Figura VI-1*), siendo difícil reconocer su separación. Asimismo, la sedimentación sinorogénica del Neógeno es reconocida como el mecanismo responsable para la creación y la generación activa del hidrocarburo en las cocinas previamente mencionadas.

6.4 Propuestas de nuevos plays de exploración

Las propuestas expuestas a continuación son basadas en levantamientos de campo realizadas por IRD (1995 y 2006) y de campañas de empresas petroleras como ELF (1999), PANENERGY (1999) y OXY (2003).

El concepto de sistema petrolífero de acuerdo a Magoon y Dow (1994) es uno de los cuatro niveles de investigación en la exploración de petróleo (*Tabla VI-2, Figura VI-5*). La exploración comienza en un área geográfica extensa con el estudio de la cuenca sedimentaria a nivel regional y el nivel de detalle aumenta a medida que se reduce el área de interés, hasta que al final del proceso exploratorio se estudia con máximo detalle un prospecto en un área muy reducida para perforar un pozo.

La primera etapa o análisis de cuenca sedimentaria tiene por objeto estudiar las rocas sedimentarias, las cuales han sido abordadas en el capítulo IV.

La segunda etapa del proceso exploratorio es el análisis del sistema petrolífero en el cual se estudian las acumulaciones de petróleo comerciales y no comerciales descubiertas y los elementos y procesos que las originaron. Además, interesa conocer estos mecanismos en el tiempo en que se formaron las acumulaciones de petróleo. En nuestro caso las ocurrencias de gas y petróleo comercial se dan en el bloque norte de la Cuenca Ucayali y están presentes en: Maquia, Agua Caliente, Pacaya, Aguaytia, Mipaya, Pagoreni, San Martín y Ahiriri. Seguidamente, los procesos y mecanismos los discutimos en la sección 6.3.2.1 y son en resumen los que afectan a una cuenca de antepaís en compresión.

| Factor | Cuenca Sedimentaria | Sistema Petrolífero | Play | Prospecto |
|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|
| <i>Objeto de Investigación</i> | <i>Rocas sedimentarias</i> | <i>Petróleo</i> | <i>Trampas</i> | <i>Trampas</i> |
| <i>Análisis económico</i> | <i>Ninguno</i> | <i>Ninguno</i> | <i>Esencial</i> | <i>Esencia</i> |
| <i>Tiempo Geológico</i> | <i>Tiempo de depósito</i> | <i>Momento crítico</i> | <i>Hoy día</i> | <i>Hoy día</i> |
| <i>Existencia</i> | <i>Absoluta</i> | <i>Absoluta</i> | <i>Condicional</i> | <i>Condicional</i> |
| <i>Costo</i> | <i>Muy bajo</i> | <i>Bajo</i> | <i>Alto</i> | <i>Muy alto</i> |
| <i>Análisis y modelamiento</i> | <i>Cuenca</i> | <i>Sistema</i> | <i>Play</i> | <i>Prospecto</i> |

Tabla VI-2.- Mostrando los niveles de importancia en la exploración de "plays" y prospectos hidrocarbúricos (Tomada de Magoon y Dow, 1994)

Más allá del análisis de cuencas y de sistemas petrolíferos, los restantes niveles de investigación en la exploración de petróleo son el análisis de "play" y prospectos (*Tabla VI-2, Figura VI-5*). El play es uno o más prospectos relacionados; y un prospecto es una trampa potencial que debe ser evaluada para ver si contiene cantidades comerciales de petróleo. El play y el prospecto son conceptos usados por los exploracionistas para presentar un idea geológica que justifique la perforación de un pozo en busca de yacimientos no descubiertos de petróleo (Magoon, 1995).

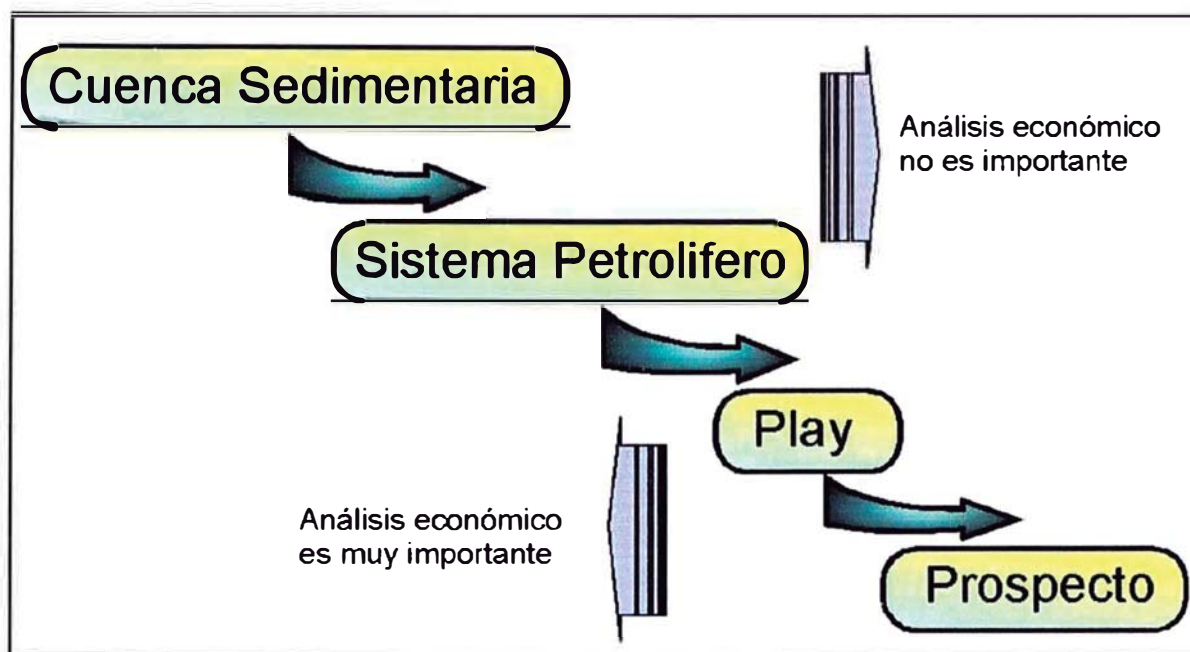


Figura VI-5.- Niveles de investigación en exploración por petróleo (modificado de Magoon y Dow, 1994)

En nuestro caso a nivel de la cuenca Pachitea, en los afloramientos de San Matías, llegamos a definir tres sistemas petroleros. Dos de origen paleozoico. El primero con la roca generadora en las Lutitas Ene, con indicios de hidrocarburos y basados en los resultados geoquímicos de una muestra de arenisca del Eólico Ene PAC033. El segundo, con roca generadora Cabanillas-Ambo, basado en los resultados geoquímicos de la columna de Nevati por ELF (inf. final, 1999). Finalmente el Tercer sistema, jurásico con roca generadora del Grupo Pucara, el cual junto con las secciones estructurales y la sección balanceada permitió definir la geometría y la coherencia del este sistema petrolero.

Los prospectos o trampas estructurales potenciales en la Sub-Cuenca Pachitea se distribuyen de sur a norte, según el grado de importancia de estos (*Figura VI-6*). Asimismo, esta se dividen en dos zonas o grupo de prospectos, llamados “play”: uno, al oeste del San Matías y el otro al este de la misma (incluyendo la Cordillera de San Matías).

En la primera zona ó “play” presenta una serie de estructuras que están compuestos de trampas estructurales de tipo anticlinal. De Sur a Norte las encontramos:

En el anticlinal de Oxapampa, rodeando al pozo Oxapampa 7-1, es posible que se encuentren trampas de tipo domo salino, actuando la sal del Grupo Pucara como una estructura muy interesante y poco conocido en el lugar.

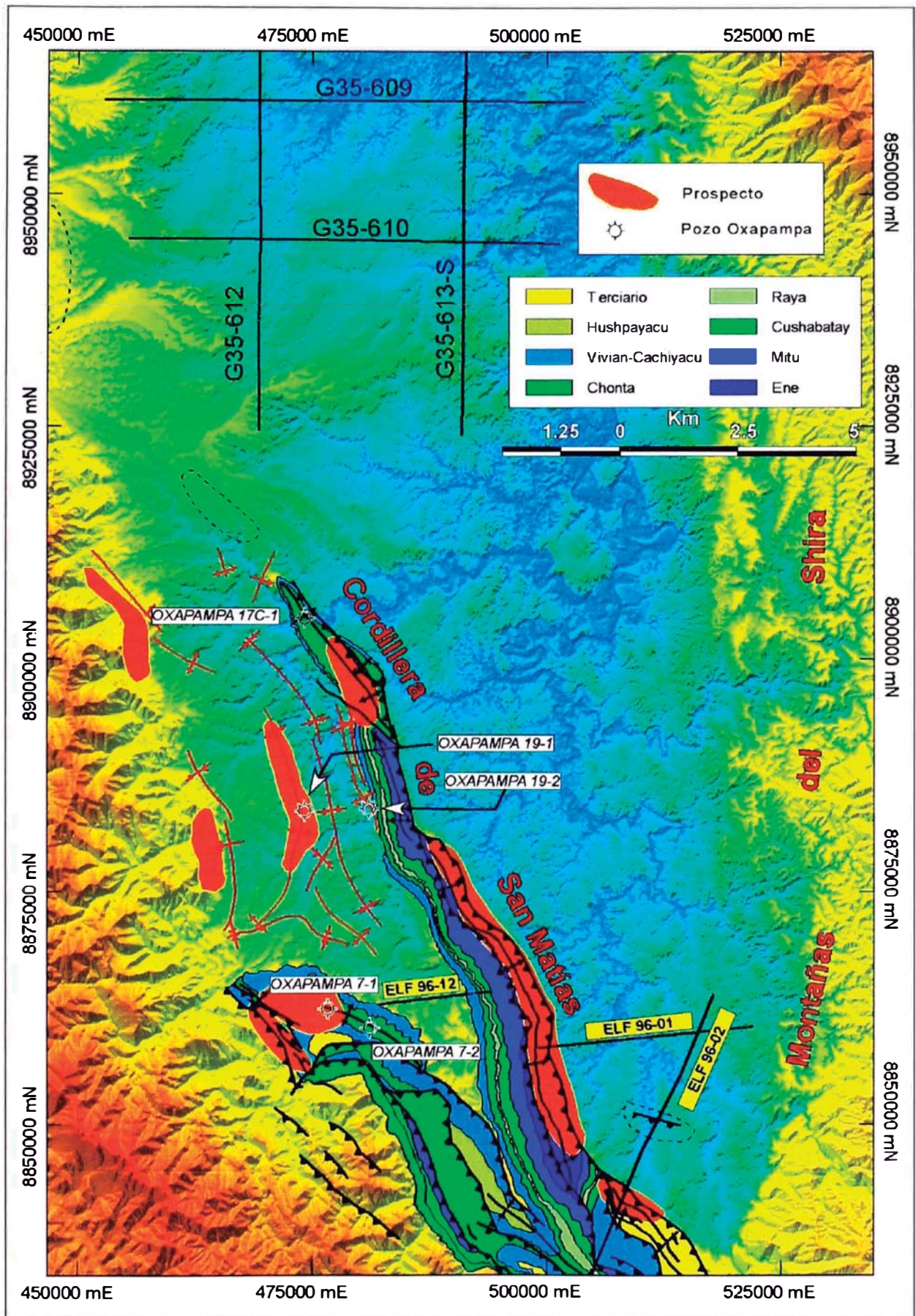


Figura VI-6.- Mapa DEM mostrando los posibles "Plays" de exploración con estructuras potenciales para ser evaluados en la Sub-Cuenca Pachitea (explicación en el texto).

Seguidamente, al noroeste, encontramos dos posibles prospectos. Uno rodeando al Pozo Oxapampa 19-1, el cual se encuentra en el eje de un anticlinal (*Figura VI-6*), siendo visto en la correlación de pozos (*Figura IV-13, capítulo IV*); y el otro, al oeste del primero; que, según levantamientos de campo de PANENERGY se encuentra en el jurásico superior, aflorando en un anticlinal de corrimiento con buzamientos al este. Al norte de estos últimos se encuentra otro probable prospecto que fue evaluado por PANENERGY encontrándose aflorando el jurásico superior, ubicándose este play en un corrimiento cerca al anticlinal de Mayro (ver *Figura IV-11*).

En la segunda zona ó “pay”, existen tres prospectos, de los cuales: uno al sur, el siguiente al centro; y el último al norte de San Matías dentro del frente del corrimiento.

El primero, ubicado en la parte sur de la sección sísmica ELF 96-02, presenta una estructura compuesta de un anticlinal, que según nuestras interpretaciones correspondería al anticlinal del frente de corrimiento de San Matías. Pero estaría a mayor profundidad, siendo esta una estructura favorable (ver capítulo III)

Los dos últimos prospectos, ubicados dentro de la cordillera de San Matías. El que está ubicado en el centro, cruza la parte oeste de la sección sísmica ELF 96-02. Es el más importante, abarcando todo el posible afloramiento de las areniscas eólicas Ene, donde debajo de los corrimientos es posible encontrar anticlinales producto de la inversión tectónica de grabenes, y que además conservan los dos sistemas petroleros paleozoicos. Mientras que el play ubicado al norte es posible que encuentre la terminación norte de las estructuras descritas anteriormente, por consiguiente, es de menor importancia que el primero.

Dentro de estas propuestas mencionadas, la que proponemos en este estudio con base a interpretaciones de elementos estructurales estudiados, sería la estructura de inversión tectónica debajo del frente de corrimiento de San Matías con los sistemas petrolero paleozoicos (Lutitas Ene-Eólico Ene) y (Cabanillas, Ambo-Tarma).

CÁPITULO VII

| | |
|---|------------|
| CÁPITULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENACIONES..... | 143 |
| 7.1 CONCLUSIONES..... | 143 |
| 7.2 RECOMENDACIONES..... | 145 |

CÁPITULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENACIONES

7.1 CONCLUSIONES

La Sub-Cuenca Pachitea presenta una evolución tectónica ligada a la zona subandina. Esta sub cuenca y parte norte de la Cuenca Ucayali están involucrado dentro de un corredor estructural que evoluciono de N a S. Esta evolución se registra en el Neógeno con el levantamiento de altos estructurales como son al este las Montañas del Shira y al oeste, la Cordillera de San Matías. Se desarrollaron estructuras complejas combinando semi-grabenos invertidos y corrimientos con despegues en niveles de evaporitas jurásicas. La compresión neógena E-W perpendicular al sistema de Rift Permo-Triásico, produjo la inversión de grabenos permo-triásicos y corrimientos en niveles de evaporitas.

La deformación tectónica en la Sub-Cuenca pachitea se da en niveles paleozoicos y zonas desprovistas de información sísmica, siendo cubierta con información de campañas de campo, acorde con el balanceo de una sección estructural y dos secciones levantadas en campo. El graben invertido debajo del corrimiento de San Matías según nuestras interpretaciones conservaría los paquetes sedimentarios permo-triásicos y niveles cretácicos y terciarios formando un anticlinal por propagación de falla.

El sistema de corrimientos frontales de San Matías involucra secuencias de areniscas eólicas y lutitas que atribuimos a la Formación pérmica Ene. La restauración de una sección estructural en el tope de la formación Cushatay permitió calcular un acortamiento de más de $40.1\% = 32.06$ Km, y validar la interpretación estructural de nuestra cuenca de estudio. Por otro lado, al Este, en Nevati, se observan en superficie secuencias paleozoicas más antiguas, constituyendo la prolongación de las secuencias paleozoicas más profundas de San Matías, identificables en secciones sísmicas.

El levantamiento de la columna estratigráfica en el sistema de corrimientos de San Matías, lugar donde afloran la mayoría de las secuencias de la Cuenca Pachitea, jugó un papel importante al momento de fijar una estratigrafía que sea acorde con el modelo tectónico regional. El nivel de detalle de esta columna permitió definir las secuencias paleozoicas de la Formación Ene y el Grupo Mitú que era motivo de diversas discusiones e interpretaciones de campañas anteriores de campo.

La Formación Ene en el subandino presenta diversas nomenclaturas estratigráficas tanto a nivel de afloramiento como en reportes de pozos. En la Sub Cuenca Pachitea se estableció la correlación estratigráfica de secciones tipo que involucra a la formación Ene; correlacionando los afloramientos de San Matías con el del Pongo de Paquizapango y el área de Camisea. De esta resulta una correlación en base a las características de las facies bien distinguidas en la formación Ene y que se presentan en San Matías, siendo utilizada para toda la cuenca. Se solucionó de esta manera el problema de la nomenclatura.

Existen tres sistemas petroleros hipotéticos en la Cuenca Pachitea: i) Pucará-Cushabatay (.), ii) Lutitas Ene- Eólico Ene (.) y iii) Cabanillas, Ambo-Tarma (.). Los cuales se distribuyen dentro de la cuenca en una cocina de sur a norte.

El sistema petrolero Pucará-Cushabatay fue modelado a partir del pozo Oxapampa 7-1. Producto de esta modelización, la roca madre del Grupo Pucara con

kerógeno de tipo II entra en ventana de petróleo a partir del Eoceno (45 Ma), no llegando a expulsar hidrocarburos. No obstante, al norte de la cuenca Pachitea, en los pozos Chio IX y San Alejandro IX, el Grupo Pucara presenta niveles ricos en MO, los cuales podrían extenderse hacia la parte norte de nuestra cuenca. Este sistema no es bien conocido en esta zona por lo que representaría una interesante opción aún por descubrir.

A nivel de los 05 pozos perforados en la Sub Cuenca Pachitea se muestran evidencias de trazas de gas en los pozos Oxapampa 19-1 y 19-2 por lo que aumenta el valor de nuestro sistema de petróleo jurásico indirectamente, ya que no se ha logrado determinar el origen de estas.

Los sistemas de petróleo paleozoicos (Lutitas Ene- Eólico Ene) y (Cabanillas, Ambo-Tarma) en las modelizaciones de las rocas madres Cabanillas, Ambo y Lutitas Ene indican que entran en ventana de petróleo a partir del Triásico Medio (220 Ma) , para la formación Cabanillas; y de Paleoceno Medio (55 Ma) para Ambo y Cabanillas (60 Ma). Estos representan los más importantes sistemas de petróleo de nuestra cuenca, mostrando evidencias de ello en el sistema (Lutitas Ene- Eólico Ene) a nivel de las areniscas eólicas Ene, con trazas de hidrocarburo en su matriz.

Los prospectos y “plays” evaluados a lo largo de la Sub-Cuenca Pachitea incorporan una propuesta coherente con las estructuras encontradas en la sísmica de los corrimientos de San Matías, los sistemas petroleros y los afloramientos descritos por PANENERGY, parte occidental de la cuenca.

Se dividieron en dos grupos de prospectos ó “plays”: el primero, ubicado en la cordillera de San Matías que involucra a los dos sistemas petroleros paleozoicos asociados a estructuras de inversión de grabenes. Finalmente el segundo “play”, al oeste del primero con limite al norte de San Matías involucra al sistema de petróleo Jurásico (Pucará - Cushabatay) que está asociado a anticlinales de corrimiento (Panenergy).

La ocurrencia de hidrocarburos en la parte norte de la cuenca Ucayli, permite tener perspectivas positivas para nuestra cuenca pachitea, debido a que las estructuras y las secuencias sedimentarias son similares. Por lo que nos lleva a pensar que existe una probable correlación de hidrocarburos de nuestra cuenca y una posible vía de migración.

La presencia de probables estructuras de inversión tectónica en la parte inferior del sistema de corrimientos de San Matías, junto con anticlinales de corrimientos involucrando el Jurásico en la parte oeste de la cuenca, hacen que la Sub Cuenca Pachitea tenga un especial interés en la exploración por hidrocarburos, que es todavía incipiente en esta zona por lo que empresas como PETROLIFERA que actualmente operan en esta área presentan retos todavía por resolver.

7.2 Recomendaciones

Realizar trabajos de campo, teniendo como objetivo el “mapeo” de las formaciones paleozoicas en la Cordillera de San Matías y en los afloramientos de Nevati, ya que representan el principal sistema de petróleo propuesto en este estudio. Como también, la evaluación geoquímica de las mismas.

En la cordillera de San Matías, la identificación de la formación Ene es determinante y en especial en la base de esta, ya que solo se logro determinar un punto en este horizonte (IRD 1995), siendo necesario identificarlo en campo y verificar su facies. Sabiendo de antemano que la formación Ene presenta roca generadora, reservorio y sello. Debido a ello que radica su importancia en su identificación y su distribución lateral.

Realizar estudios de correlaciones geoquímicas entre las rocas generadoras de la Cuenca Ucayali, y la cuenca Pachitea, para definir la relación genética y evaluar las rutas y distancias de migración de los hidrocarburos que podría contener nuestra cuenca. Y como primer paso sería saber si se puede realizar esta correlación con la muestra de areniscas Ene con niveles de hidrocarburo en su matriz.

En los pozos Oxapampa 7-2, 19-1, 19-2 y 17C-1, los registros litológicos reportados por CERROPET, no presentan suficientes detalles para su correcta identificación. El trabajar con las muestras de pozo realizando petrografía ayudaría a aclarar las ocurrencias de gas que se reportan –que todavía es un misterio – y correlacionar las posibles trampas estratigráficas o estructurales que se presenten.

De ser necesario, evaluar la parte sur de la cordillera de San Matías, para obtener posibles prospectos, siendo mucho más complejo a este nivel que al norte. Pero el hecho que se presenten secuencias paleozoicas asociadas a corrimientos terciarios evidencia una posible continuación de estructuras.

Realizar una evaluación gravimétrica con métodos geoestadísticos, en los cuales importa la posición de las anomalías, permitiendo seguir posibles estructuras que se desarrollan. Estos métodos basados en variogramas y mallas de distribución son un poco complejos pero se ajustan a la naturaleza de los cuerpos, por lo que se sugiere realizarlos para descartar estructuras.

Bibliografia

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA

ALLMENDINGER, R.W. 1998: Inverse and forward modeling of trishear fault-propagation folds. *Tectonics*. 17 (4): 640-656. AUDEBAUD E, CAPDEVILLA R., DALMAYRAC B, otros; Les traits géologiques essentiels des andes centrales (Perú, Bolivia) Vol. XV, fasc. 1-2, pp. 73-114.

BABY, Patrice; ESPURTE, Nicolas; STÉPHANE Brusse; Rolindo Tejada. 2006: Informe Anual, Secciones Balanceadas Ene Inuya, Ene - Otishi; Convenio PLUSPETROL-PERUPETRO-IRD, pp. 11.

BEAUMONT C. 1981: Foreland basin. *Roy. Astron. Geophys. Journ.*, 137, pp. 291-329.

BOND, R; McClay, R. 1995: Inversion of a lower Cretaceous Extensional Basin, south central Pyrenees, Spain. En Buchanan, J., & Buchanan, P. (editors), 1995, Basin Inversion, pp. 515-431.

BRUSSET, Stephane. 1999: Dynamique des bassins d'avant-pays: Signatures tectoniques et sédimentaires de l'évolution de chaînes de montagne (Exemples de la chaîne de Taiwan et de la chaîne des Maghrébides-Bétides). Thèse Université Paul Sabatier de Toulouse, pp.161.

BUCHANAN P. G. & McCLAY K.R. 1991: Sandbox experiments of inverted listric and planar fault systems. *Tectonophysics*, v 188.

CARLOTO, Victor; CARDENAS, José; CARLIER, Gabriel; MARTINEZ, Enrique, CERPAS, Luis; VALDERRAMA, Patricio; ROBLES, Teresa. 2004: Evolución tectónica y sedimentaria de la cuenca Mitú (permo-triásica) de la región de Abancay-Cusco-Sicuani (Sur del Perú), en XII Congreso peruano de geología, resúmenes extendidos, pp. 412-415.

CHARRIER, R., WYSS, A.R., FLYNN, J.J., SWISHER III, C.C., NORELL, M.A., ZAPATA, F., MCKENNA, M.C. and NOVACEK, M.J., 1996: New evidence for late Mesozoic-early Cenozoic evolution of the Chilean Andes in the Upper Tinguiririca valley (35° S), Central Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 9(5-6): 393-422.

CORELAB. 1999: Geochemical evaluation of fan oil and a gas sample recovered from an old well location in the Ucayli Basin, Peru; prepare for PANENERGY, en banco de datos de PERUPETRO, pp. 1-4.

CORELAB. 1996: Hydrocarbon source rocks of the sub Andean Basin, Peru. Volume 3 final report interpretation and synthesis, pp. 26-37.

CRISTALLINI, E. 1998: Introducción a las fajas plegadas y corridas; Buenos Aires. Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, pp. 9,10.

DAHLSTRÖM, C. D. A. 1969: Balanced cross sections, *Can. J. Earth Sci.*, 6, pp. 743-757

DALMAYRAC, Bernald; LAUBACHER Gerard; MAROCCO Rene. Abril 1988: Características Generales de la Evolución Geológica de los Andes Peruanos, *Boletín N° 12, Serie D, estudios especiales*, pp 197,229.

DECELLES P. et GILES K. 1996 : Foreland basin Systems. *Basin Research*, 8, pp. 105-123.

DICKINSON W. R. 1974: Plate tectonics and sedimentation. *Spec. Publ. S.E.P.M.* 22, pp. 1-27.

ELF Hydrocarbures Perou, (5-02-1999): Final report, block 66, Perú, *volumen III*, pp. 2,3,8-13, 17, 29-32, 36-46.

ERSLEV, E.A., 1991: Trishear fault-propagation folding. *Geology*. 19: 617-620.

ERSLEV, E. y ROGERS, J. 1993: Basement-cover geometry of Laramide fault-propagation folds. En Schmidt, C. J., Chase, R. B., y Erslev, E. A. (Eds.). *Laramide Basement Deformation in the Rocky Mountain Foreland of the Western United States*: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 280: 125-146.

FLEMINGS, P. & JORDAN, T.; (1989): A Synthetic Stratigraphic model of Foreland Basin Development. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 94.

GLENNIE K. & BOEGNER P. L. E. 1981: Sole pit inversion tectonics in : *Illing L. V. & Hobson G. D. (eds) Petroleum Geology of the Continental Shelf of Northwest Europe. Institute of Petroleum, London.*

GIL, Willy Fernando. 1995: Tectónica de inversión cretácica y terciaria en el antepais andino: ejemplo de la Cuenca Marañon. Universidad nacional San Antonio Abad del Cusco. Tesis de grado de ingeniero geólogo, pp. 21, 22, 23, 24, 25.

GIL, Willy Fernando. 2001: Evolución Lateral de la Deformación de un Frente Orogénico: Ejemplo de las cuencas Subandinas Entre los 0° y 16°S. Universidad Toulouse III-Paul Sabatier, Francia, Tesis de doctorado, pp. 21, 22, 23, 25, 26, 27, 32, 57, 58.

GILCRIST R.; COWARD M. & MUGNIER J. L. 1987: Structural inversion and its controls: Examples from the Alpine foreland and the French Alps. *Gedinnamica Acta (Paris) I.I.*

HERMOZA, Wilber. 2005: "Reporte Técnico Cuenca Ucayali, Avance 2005", PERUPETRO. Lima, Banco de Datos Perupetro, pp. 2, 28, 31, 32, 33, 35, 36, 38.

HERMOZA, Wilber. 2004: Dinamica Tectono-Sedimentaria Y Restauracion Secuencial De La Cuenca De Antepais De Los Andes Centrales, tesis de doctorado, Université, Paul Sabatier Toulouse III, pp. 2, 227, 228, 230.

IGN (Instituto Geográfico Nacional), 2006: "Cartografía geográfica Nacional del Perú escala: 1: 100 000", Lima, Cartas geográficas: 19 L, 19M, 19 N, 20 M, 20 N, 21 M, 21 N.

JAILLARD, E. 1996: Compte rendi de la misión sur le terrain entre Puente Paucartambo et Villa Rica. Convention ORSTOM-ELF AQUITAINE PRODUCTION, rapport inédito.

KOOPMAN A., SPECKSNIJDER A. & HORSFIELD W. T. 1987: Sand box studies of inversion tectonics. *Tectonophysics*. 137.

LANGNER, Erich; REATEGUI, Oscar y otros. 1982: Evaluación Potencial Petrolero Cuencas Huallaga, Ucayali y Madre de Dios: Lima: PETROPERU, Anexo B: Información Geofísica Básica, pp.

LEÓN, L. A. 1999: Geología estructural de Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Facultad de ingenierías Físico-Químicas, escuela de geología, pp. 220.

LETOUZEY J. 1990: Fault reactivation inversion and Fol.-Thrust Belts. Petroleum Tectonics in *Mobile Belts*, J. Letouzey (editor) and Editions Technip. Paris.

MAGOON, L.B. 1988: The Petroleum System, A classification scheme for research, exploration and resource assessment, In: Magoon, L.B., ed., Petroleum Systems of the United States: U.S.G.S. Bulletin, p. 2-15.

MAGOON, B; DOW, Wallace. 1994: The Petroleum System From Source to Trap, AAPG memoir 60. pp 170,176.

MEGARD, F. 1973: Etude géologique d'une traversale des andes au niveau du Pérou central. Thèse Doct. Es Sc. Nat., Montpellier.

TURIENZO, M. M. y DIMIERI, L. V. 2005: Interpretación de la estructura del frente montañoso en la zona del río Diamante, Mendoza, Revista de la Asociación Geológica Argentina, 60 (2): 336-352.

MITRA S. 1993: Geometry and kinematic evolution of inversion structures. *A:A:P:G* V77 N° 7.

MURILLO, M.H; SARQUEZ C.A. & R. LINARES: Exploracion Petrolera en las Cuencas Subandinas Geometría y Cinemática de Micropliegues del Cretáceo Basal Aplicados a la Interpretación Estructural de Zonas de Piedemonte, VIII Simposio Bolivariano, Universidad Industrial de Santander, Instituto de Colombia.

NARR, W.; SUPPE, J. 1994: Kinematics of basement involved compressive structures. American Journal of Science 294, 802 y 860.

NAVARRO, Luis. 2005: "La cuenca Santiago, Estilo Estructural y Sistemas Petroleros"; Tesis de grado. En Perupetro. Pp: 59, 60, 61, 62, 63, 64.

NOBLET, C.; LAVENU, A. & MAROCCO R. 1996: Concep of confinium as opposed to periodic tectonism in the Andes. *Tectonophysics*, 255, pp. 65-78.

OCCIDENTAL. Corp.(03-2003): Reporte final de evaluación técnica (TEA) lote 21, Occidental sucursal de Perú, pp. 3-5, 82-88.

PANENERGY, (27-12-1998): Reconocimiento Pozo Oxapampa 19-1, lote 40, ITP20694 (código, base de datos PERUPETRO), pp 01-10 .

PARDO Casas, F. y MOLNAR, P. 1987: Relative motion of the Nazca (farallon) and South American plates since Late Cretaceous. *Tectonics* 6: 233-248.

PETROPERU (10-2-1961): Reporte de Pozo Oxapampa 7-1, Company: Cerro de Pasco Petroleum co, IP2001 (código, base de datos PERUPETRO)

PETROPERU (10-2-1961): Daily drilling Report, Oxapampa 7-1, Company: Cerro de Pasco Petroleum co, IP20031, IP20035 (código, base de datos PERUPETRO)

PETROPERU (10-2-1961): Reporte de Pozo Oxapampa 7-2, Company: Cerro de Pasco Petroleum co, IPP20248, IPP20249 (código, base de datos PERUPETRO)

PETROPERU (10-2-1964) Electrical Log, Company: Cerro de Pasco Petroleum co, pozo exploratorio, Oxapampa 19-1.

PETROPERU (18-9.1961): Registro Gráfico Copuesto: Cerro de pasco Petroleum co, pozo exploratorio: Oxapampa 7-2.

PETROPERU (11-1987): Determinación del tipo de keroseno y el índice de alteración. Termal. por: Cerro de pasco Petroleum corporation termal: pozo exploratorio: Oxapampa 7-1.

PETROPERU (20-03-1996): Geochemical Analisis of three wells Perú. Termal. por: *Murphy Peru Oil co. New Orleans .L.A.* En banco de datos de PERUPETRO, pp.: 2,3,7,8,19,20.

PETROPERU (30-03-1964) : Muestras de core en pozo oxapampa 19-1. en: Memorandum Cerro de Pasco Co. pp.: 1,2.

PETERS KE. Marzo de 1986: "Guidelines for Evaluating Petroleum Source Boletín de la AAPG Rock Using Programmed Pyrolysis, 70", no. 3: 318–329.

PETERS KE y CASSA MR. 1994: "Applied Source Rock Geochemistry," en Magoon LB y Dow WG (eds): *The Petroleum System—From Source to Trap: Memoria 60 de la AAPG.* Tulsa: AAPG, pp. 93–120.

PERRODON, A. 1992: Petroleum System: Models and applications: *Journal of Petroleum Geology*, v. 15, n. 3, p. 319-326.

RICH, J. L. 1934: Mechanics of lows-angle overthrust faulting as illustrated by Cumberland Thrust Block, Virginia, Kentucky and Tennessee: AAPG Bulletin, v. 18, p. 1684-1696.

SARMIENTO, Luis ; HÉRNANDES, Sergio; HANS, Barterls; GALINDO, Martha Y GARCIA, Juan. 2002: "Sistema De Información Geográfica Para Al Análisis De Los Sistemas Petrolíferos En La Exploración De Petróleo" Colombia, ECOPETROL, pp.1,2.

SCHRÖDER, L; SOTO, F. Julio 1982: Evaluación Potencial Petrolero, Cuencas: Huallaga, Ucayali y Madre de Dios; Anexo C: PETROPERU, Información e Interpretación Geoquímica; Código Perupetro: IT00312. Pp. 39, 61

SINCLAIR, H. D.; COACKLEY B. J.; ALLEN P. A. & WATTS A. B. 1991: Simulation of foreland basin stratigraphy using a diffusion model of mountain belt uplift and erosion: an example from the central Alps, Switzerland. *Tectonics*, 10 (3), pp. 599-620.

VICTOR A. Ramos. Octubre 2004: Regímenes tectónicos en los andes: Extensión vs. Compresión en la cadena andina. Universidad de Buenos Aires. Pp 780-782; en XII congreso Peruano de Geología, Resúmenes extendidos.

VILLA, Héctor. Febrero 2007: Evaluación Geoquímica de Afloramientos Varios de Perú; Convenio IR-PERUPETRO; Buenos Aires, Argentina, pp. 1,2,3.

PAGINAS WEB:

NASA, 2006: Sitio web con información de imágenes satelitales en la 7 bandas espectrales, de uso libre. Presenta una resolución de 30 a 15m. Así como también DEM (modelos digitales de elevación) con resolución de 90m por pixel <http://glefapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>

NASA, 2006: Sitio web de de carga de imágenes satelitales en formato SID, con tres bandas espectrales, presenta una resolución de 30 m por pixel, en falso color <https://zulu.s.c.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>

UWGB (University of Wisconsin): Sitio web de la Universidad de Wisconsin con información del curso de geología estructural, gráficos y ejemplos didácticos, en este caso ilustra el método de Kink, utilizado para la construcción de pliegues geométricos: <http://www.uwgb.edu/dutchs/STRUCTGE/SL162KinkMethod.HTM>.

Anexos

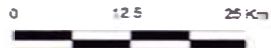
ANEXOS

ANEXOS

En esta sección, mostraremos información que no ha sido agregado en los capítulos anteriores. El cual es producto de la investigación bibliográfica realizada en el banco de datos de PERUPETRO y consta de: mapa, secciones, datos de campo, etc. Información que ha sido importante para armar los diferentes secciones estructurales y estratigráfica de nuestra cuenca.

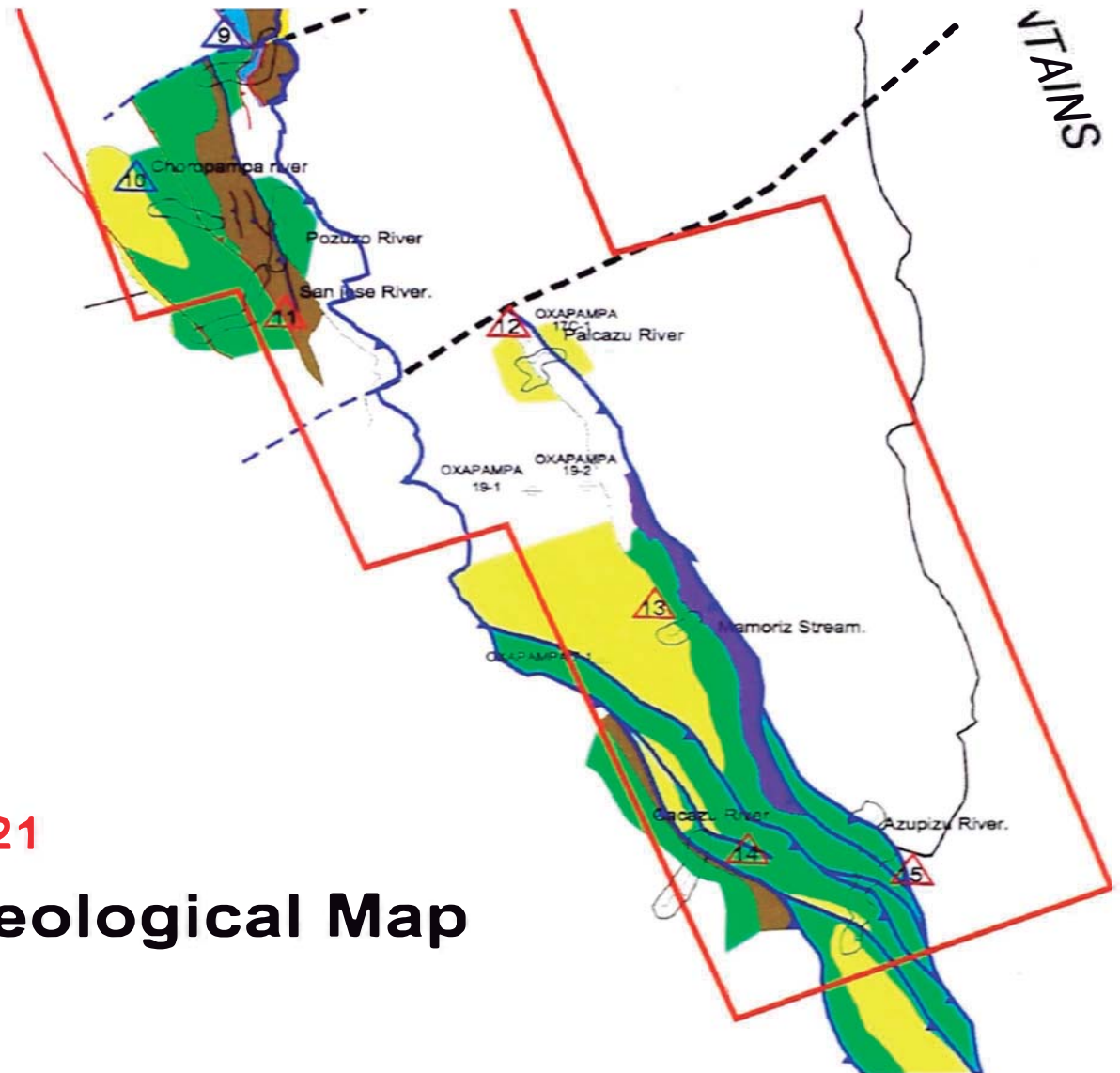
Legend

- Q Quaternary
- T Tertiary
- K Cretaceous
- Js-s Sarayaquillo
- Is-p Ps-m Pucara/Mitu
- Pz-s Paleozoico sup.
- Pz-i Paleozoico inf.
- Prec. Precambrico
- Intrusive/Volcnic
- △ Field Location

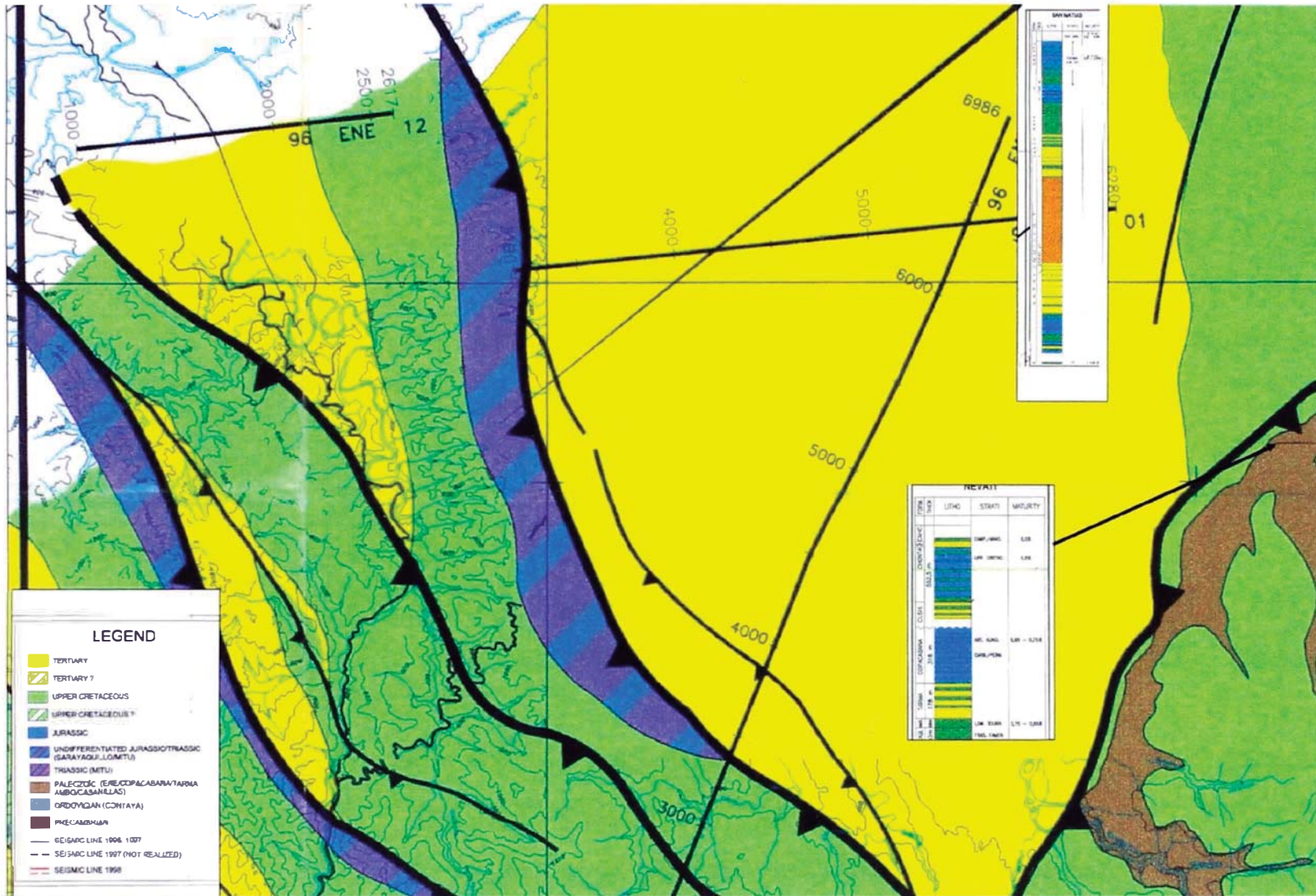


Block 21

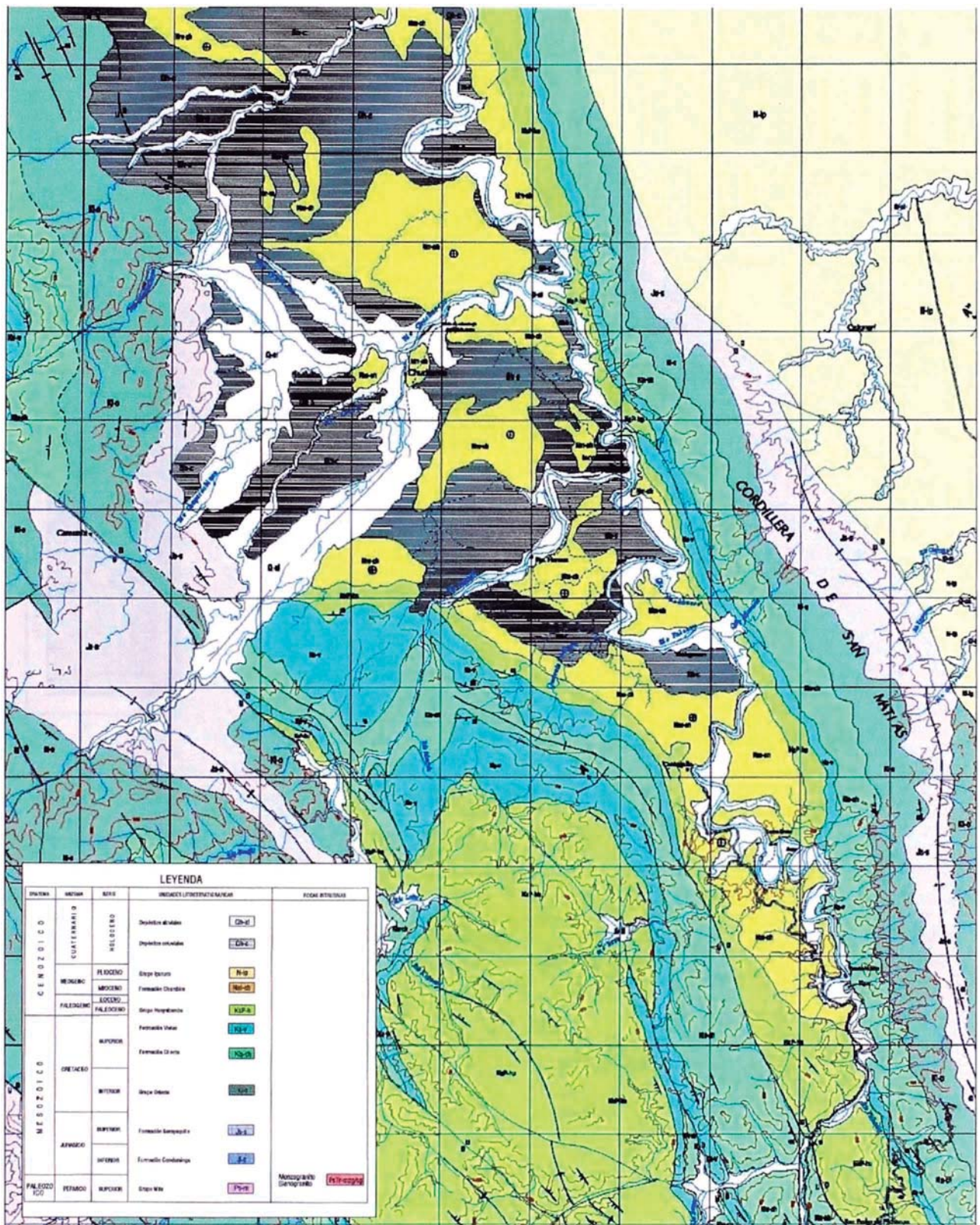
Field Work Geological Map



Anexo 1.- Mapa geológico de Occidental en el bloque 21 (2003) mostrando las campañas de campo que circundan la cuenca Pachitea.



Anexo 3.- Mapa geológico de ELF (1999) regional con el levantamiento de secciones en San Matias y Nevati.



Anexo 4.- Mapa geológico del INGEMMET (21M) que abarca parte de la cordillera de San Matías y el flanco oeste de l mismo.

VER:
plano N°1
plano N°2
plano N°3

Datos estructurales y estratigráficos de la campaña de campo IRD 2006

| POINT | X | Y | Azmut | Dip | Formación | Muestra | Comentario |
|---------|--------|---------|-------|-----|-------------|----------|--|
| Pac001 | 468552 | 8796601 | | | | | Intrusivo granodiorítico San Juan |
| Pac002 | 469881 | 8797582 | 20 | 45 | Chonta? | | Calcareo, Bancos de 1.2m, bancos bioturbados ripples con niveles calcareos karstificados(emersion), cretaceo directamente sobre la form, pas de rift |
| Pac003 | 469698 | 8798120 | 225 | 45 | Chonta? | | Lutitas grises, facies chonta intercalacion en niveles calcareos, karstico |
| Pac004 | 469721 | 8798156 | 195 | 85 | Vivian | | Formacion Vivian, algo tidal, |
| Pac005 | 469782 | 8798274 | 355 | 17 | | Ro | lutitas grises, encima bioturbación |
| Pac006 | 469909 | 8798522 | 215 | 82 | | | Paleoceno vertical deformado, limolita roja |
| Pac007 | 469949 | 8798558 | 25 | 65 | | | Calcareo, grano fino, blanquecino, toba? |
| Pac007b | 470161 | 8799702 | 225 | 40 | | | |
| Pac008 | 470139 | 8799750 | 230 | 42 | | AFTA | Sarayaquillo rojo, grano medio a grueso, estratificación plana |
| Pac009 | 468301 | 8801398 | 43 | 46 | | AFTA | Sarayaquillo tipico?, grano grueso conglomeratico, fluvial, con nodulos volcanicos |
| Pac010 | 467975 | 8801711 | 43 | 42 | | AFTA | Sarayaquillo o Mitu?, sedimentos graben?, bancos con muscovita, Merced permiano? |
| Pac011 | 468056 | 8801912 | 40 | 30 | | Pac011 | Paso progresivo a lutitas, muestra lutitas grises, ancho aprox 40m continuo |
| Pac012 | 468140 | 8801928 | 45 | 35 | | Pac012 | Calcareo Pucara? |
| Pac013 | 468291 | 8802489 | 255 | 36 | | Pac013 | Calcareo bioclastico intercalado con lutitas gris claro |
| Pac014 | 468177 | 8802968 | | | | Pac014 | Diapiro de sal, en el flanco de la montaña, rio salado |
| Pac015 | 468210 | 8802220 | 45 | 30 | | Pac015 | Afloramiento de calizas gruesas y finas rojas con fosiles: amonite? |
| Pac016 | 466605 | 8805991 | 30 | 45 | | vitrinta | Alternancia de lutitas grises con calcareos finos, muestra de lutitas calacareas |
| Pac017 | 466527 | 8806373 | 25 | 27 | | Marga | Aforamiento de marga negra |
| Pac018 | 466895 | 8811411 | 115 | 55 | Cushabatay? | AFTA | Arenisca de grano grueso con laminaciones, Micro conglomerado 100% cuarzoso aporte granito la Merced, capas de argilitas tobaceas como matris en lutitas, cushabatay |

| | | | | | | | |
|---------|--------|---------|-----|----|------------|--------|--|
| Pac019 | 467244 | 8811013 | 90 | 40 | | | Arenisca de grano grueso microconglomerado 100% Qz facies gilbert, oblicuas erosion y exelente reservorio, tipo delta progradada al SE, tiene mucho aporte volcanico |
| Pac020 | 471535 | 8813422 | | | | | limos rojos, bien deformados, villa rica |
| Pac021 | 472395 | 8812909 | 10 | 30 | Paleceno? | | limolitas, lutitas, grano fino rojo, paleoceno? |
| Pac022 | 477562 | 8813193 | 55 | 42 | Pucara? | | caliza gris fina, posible chambara, o Pucara? |
| Pac023 | 477819 | 8813435 | 190 | 32 | | | caliza finamente estratificada, flanco sinclinal? |
| Pac024 | 478548 | 8813434 | 82 | 33 | Chonta? | | Dolomita calcarea fina, ondulitas, gris blanquecinas |
| Pac025 | 480402 | 8815315 | 65 | 22 | Mitu? | | Intercalaciones muy carbonatadas violaceas dentro de gravas, niveles de fosiles raices ? En la base calc mitu |
| Pac026 | 481667 | 8816180 | | | | | Lutitas rojas, paleosols, encima la secuencia dolomitas |
| Pac027 | 482051 | 8816376 | | | Bajo Mitu? | | Limolitas, lutitas rojas, sub horizontal |
| Pac028 | 483795 | 8816579 | 120 | 22 | | | Caliza maciza, bioturbada con fosiles 10-15m |
| Pac029 | 484491 | 8816716 | | | | Ro | Calizas lagunares, poca energia, zona con falla normal |
| Pac030 | 502071 | 8849502 | | | Ene? | | Lutitas grises a rojas |
| Pac031 | 501892 | 8849658 | 80 | 5 | | | Lutitas marrones a rojas bancos gruesos, sub horizontales esp 10m, margas |
| Pac032 | 501761 | 8849606 | 100 | 30 | | | limolitas rojas pasando a marron, margas |
| Pac033 | 501809 | 8849443 | 72 | 38 | | | Areniscas eólicas, con estructuras duna? Buena porosidad, exelente reservorio granos de qz, feldespatos blancos en la matriz |
| Pac033b | 501864 | 8849105 | | | | | Areniscas eólicas |
| Pac034 | 501784 | 8849268 | 55 | 25 | | | areniscas eólicas pasan a niveles bien compactos cuarcita |
| Pac035 | 501185 | 8848464 | | | | | areniscas eólicas en bancos con estructuras sedimentarias |
| Pac036 | 501159 | 8848569 | 248 | 23 | | | limolitas rojas y arenas feldespaticas encima del eolico |
| Pac037 | 500699 | 8848915 | | | | | calizas finas, rojas, limolitas de grano fino, grietas de desecacion |
| Pac038 | 500550 | 8848906 | 330 | 25 | | | limolita calcarea algo bioturbado, caliza |
| Pac039 | 499308 | 8847518 | 250 | 27 | | Pac039 | Arenisca grano grueso-grano fino compactado, microconglomerado, con feldespatos blancos |
| Pac040 | 499259 | 8847495 | | | | | En la base se encuentran rocas volcanicas piroclastos coladas riolíticas, andesitas en clastos, con facies conglomeraticas |
| Pac041 | 499208 | 8847320 | | | | Pac041 | Conglomerados espesores de 20m, clastos volcanicos, muestra datacion |

| | | | | | | | |
|---------|--------|---------|-----|----|---------------------|-------------------------|--|
| Pac042 | 498896 | 8846170 | | | | | conglomerados con clastos volcanicos riolita tamaño grano 10-40cm , grano grueso |
| Pac043 | 498735 | 8845251 | 255 | 35 | | | Secuencias clasticas areniscas conglomeraticas |
| Pac044 | 498662 | 8845272 | 240 | 35 | Base Cushabatay? | | Contacto areniscas en bancos de 10-15m sobre conglomerados |
| Pac045 | 498794 | 8844776 | 260 | 38 | Cushabatay? | | arenisca rosadas en paquetes muy gruesos, grano masivo |
| Pac045b | 498796 | 8844333 | | | | | Arenisca, buzan sw |
| Pac046 | 498778 | 8844265 | 235 | 44 | | Pac056 | areniscas rojas ,grietas de desecacion |
| Pac046b | 498682 | 8844171 | | | | | Contacto de arenisca |
| Pac047 | 498665 | 8844176 | 255 | 58 | | | Arenisca blanca,grano grueso azucar, facies oblicuas, 100%Qz |
| Pac048 | 498668 | 8844050 | | | | | Grano grueso conglomeratico 100%Qz, reservorio, algo tobacea que altera a violeta |
| Pac049 | 498343 | 8843669 | 200 | 15 | | | limolitas rojas |
| Pac050 | 498173 | 8843773 | | | | | Caliza gruesa, posible chonta |
| Pac051 | 497992 | 8843650 | 245 | 60 | | | caliza bioturbada fina gris |
| Pac052 | 497787 | 8843592 | | | | | caliza fina gris oscura, bancos 40cm |
| Pac053 | 497298 | 8842649 | 240 | 45 | | Ro | Arenisca blanca,grano grueso azucar 100%Qz |
| Pac054 | 497559 | 8842185 | 246 | 42 | | | Arenisca grano fino con ripples 20m |
| Pac055 | 496727 | 8842661 | 242 | 27 | | Ro | Intercalacion de areniscas de grano fino con lutitas, ripples, lutitas negras a grises, ondulitas,bioturbado |
| Pac056 | 496379 | 8843147 | 90 | 10 | | | Lutitas grises verdes |
| Pac057 | 496298 | 8842299 | | | | | Arenisca blanca,grano azucar 100% Qz |
| Pac058 | 496726 | 8841617 | | | | ro | Lutitas grises deformadas , calizas en la base, despegue? |
| Pac058b | 496814 | 8841614 | | | | Fosiles, Braquiopodo | coquina fosiles |
| Pac059 | 487254 | 8861330 | 5 | 20 | | | Lutitas rojas, bancos microbrechas clastos arg, niveles tobaceos |
| Pac060 | 488696 | 8857703 | 180 | 3 | | | Lutitas rojas con calizas rojas |
| Pac061 | 489917 | 8855789 | | | | | Limolitas grano fino rojizas |
| Pac062 | 488929 | 8857717 | 210 | 10 | | | Tidalitas cemento calcareo |
| Pac063 | 493065 | 8850376 | | | | Vivian? | areniscas grano grueso qz azucar,sub horizontales |
| Pac064 | 493192 | 8850121 | 240 | 55 | | Pozo? | arenisca grano medio tobacea, lutitas rojas, volcanico cretac?, tidalitas,azucar en la base, zona deformada,tectonica cretaceo sup |

| | | | | | | | |
|---------|--------|---------|-----|----|---------|--------|---|
| Pac064b | 493214 | 8850115 | 260 | 42 | Chonta? | Pac064 | |
| Pac065 | 493402 | 8849965 | 250 | 55 | | | caliza compacta con fosiles, micritica |
| Pac066 | 493771 | 8849871 | 250 | 42 | | | caliza gris |
| Pac067 | 494415 | 8848224 | 225 | 60 | | | limolitas rojas |
| Pac068 | 494692 | 8847787 | 270 | 25 | | | zona de falla N-S |
| Pac069 | 495041 | 8846396 | 30 | 89 | | | lutitas calcareas rojas, probablemente aloctono, deformado |
| Pac070 | 494914 | 8846299 | | | | 15:50 | Lutitas negras, calizas deformadas, derrumbe |
| Pac071 | 493265 | 8844691 | | | | 16:00 | otro lado del rio secuencia de calizas y limolitas rojas de 15-20m espesor cada sec |
| Pac072 | 492705 | 8844104 | 290 | 12 | | | Lutitas rojas con niveles tobaceos, bien deformado un acortamiento de +20m, fosil |
| Pac073 | 492501 | 8843800 | 230 | 9 | Chonta? | | Calizas chonta, flanco W del anticlinal seguidas con limolitas calcareas rojas en el tope arenizas azucar |
| Pac074 | 492452 | 8843195 | 0 | 0 | | | areniscas con estructuras sedimentarias tipo ripples con lutitas en la base |
| Pac075 | 492409 | 8842512 | 0 | 0 | | | capas rojas en la base, limolitas rojas a gris, niveles tufos fino |
| Pac076 | 492375 | 8839562 | 90 | 30 | | | cuarcita, dunas? |
| Pac076b | 492522 | 8839572 | 210 | 45 | | Pac076 | Cuarcita |

Anexo 8. Tabla con los datos estructurales y estratigráficos de la campaña de campo IRD 2006 que comprende los afloramientos de Puente Paucartambo y la cordillera de San Matías.