

**SGP**
FUNDADA 1924**Sociedad Geológica del Perú**Journal Homepage: www.sgp.org.pe

ISSN 0079-1091

Análisis estructural y estratigráfico de la Sub-cuenca Pachitea, zona noroccidental de la cuenca Ucayali-Perú

**Christian Hurtado ¹, Patrice Baby ², Ysabel Calderón ³,
Carlos Monges ⁴, Esteban Gobbo ⁵ y Rolando Bolaños ⁶**

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela Cda. 34 s/n Lima Cercado, Lima, Perú. (christian.hurtado,enriquez@gmail)

² Géosciences Environnement Toulouse (GET), Université de Toulouse, Université Paul Sabatier –Toulouse III, CNRS UMR 5563 / UR 234 IRD / UPS Toulouse / CNES, 14 Avenue Edouard Belin, Toulouse, France. (patrice.baby@ird.fr)

³ Perupetro S.A., Calle Luis Aldana 380, San Borja, Lima-Perú (ycalderon@perupetro.com.pe)

⁴ Zorritos Peru Holdings Inc, Lima-Perú (carlosmonges56@gmail.com)

⁵ Gran Tierra Energy Perú, Calle Andres Reyes 437 San Isidro, Lima, Perú (estebangobbo@grantierra.com)

⁶ Consultor, G. Faure # 102, San Borja, Lima, Perú, (rbolanoszapana@gmail.com)

ABSTRACT

The Ucayali basin is currently considered as one of the Subandean basins with highest hydrocarbons potential in Peru. To the northwest, it comprises the poor explored Pachitea sub-basin. New seismic information integrated in the regional geology allowed to recognize some inconsistencies in the current stratigraphic chart and to propose a new stratigraphic and structural model of the Pachitea sub-basin. The results show: 1) a better stratigraphic correlation of pre-cretaceous units between the northern and southern parts of the Ucayali basin; 2) the leading role of two evaporates levels that controls thrusts propagation; 3) the presence of a possible Paleozoic petroleum system that extends to the northern area of Ucayali basin; 4) the preservation of structures created by a pre-Andean thrust tectonics; 5) a possible petroleum potential of this pre-Andean structures as new play for future explorations.

RESUMEN

La cuenca Ucayali es considerada actualmente como una de las cuencas subandinas con mayor potencial hidrocarburífero en el Perú. Dentro de su dimensión, alberga hacia el noroeste a la Sub-cuenca Pachitea, la cual es aún poco explorada. Con el aporte de la nueva información sísmica integrada en la geología regional, se ha podido reconocer incongruencias en los modelos estratigráficos actuales y también evidencias que ameritan la elaboración de un nuevo modelo estratigráfico y estructural. Los resultados muestran: 1) una mejor correlación estratigráfica de las unidades pre-cretácicas entre las zonas norte y sur de la cuenca Ucayali; 2) el papel preponderante de niveles de evaporitas controlando la propagación de corrimientos; 3) la presencia de un posible sistema petrolero paleozoico que se prolonga hacia la zona norte de la Cuenca Ucayali; 4) la preservación de estructuras creadas por una tectónica de corrimiento pre-andina; 5) un posible potencial de estas estructuras pre-andinas como nuevo “play” para futuras exploraciones.

Palabras claves: Subandino, pre-cretácico, evaporitas, sistema petrolero, tectónica de corrimiento, Ucayali, Perú.

1. Introducción

La zona de estudio se encuentra en la Cuenca Ucayali Norte entre los 08° y 11° de latitud Sur y los 74° y 76° de longitud Oeste abarcando los departamentos de Pasco, Junín, Huánuco y Ucayali. Tiene aproximadamente una superficie de 250 km², y está localizada entre el frente de montañas de la Cordillera Oriental, el Subandino y la cuenca de ante-país amazónica del centro del Perú.

La Cuenca Ucayali se divide en dos sub-cuencas, al Oeste, la Sub-cuenca Pachitea, y al Este, la Sub-cuenca Ucayali Sur que alberga el campo de Camisea (Figura 1). Esta división es el resultado del levantamiento del Alto del Shira. La Sub-cuenca Pachitea, como tema de estudio, forma parte del conjunto de cuencas subandinas del ante-país amazónico. Estas cuencas son reagrupadas en función de sus características estructurales y/o sedimentarias, las cuales propiamente se desarrollan desde la zona de “wedge-top” hacia el “foredeep” del ante-país según el modelo de DeCelles (2012).

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 une con la cuenca Ucayali y tiene como límite norte el Alto de Cushabatay y el Arco de Contaya. Su prolongación SE viene a corresponder a la Cuenca Ene (Figura 1).

El presente estudio realiza un análisis estratigráfico y estructural a partir del uso de nuevos datos de superficie y subsuelo que permitan establecer correlaciones estratigráficas y elaborar secciones estructurales. El modelo estratigráfico fue construido a partir de dataciones bioestratigráficas (PanEnergy, 1998), correlaciones de afloramientos y pozos, y secciones sísmicas compuestas. Las secciones estructurales fueron validadas por el método de secciones balanceadas.

2. Contexto Geológico

2.1. Marco tectónico

Los rasgos morfológicos más importantes que limitan la Cuenca Ucayali Norte corresponden a los Cerros Cushabatay y el Arco de Contaya (Figura 1). Estos altos estructurales separan la cuenca Ucayali de la cuenca Maraón, y son interpretados como la reactivación de corrimientos paleozoicos de basamento (Calderón et al., 2017). Hacia la zona central, se desarrollan las Montañas de Shira que corresponden también a una estructura de basamento (Witte et al., 2015) con orientación estructural N-S. Se extienden hacia el Sur hasta la Cordillera de Vilcabamba, y al Norte, hasta la confluencia de los ríos Ucayali y Pachitea. La estructuración del Shira se inició a partir del Paleozoico Superior (Espurt et al., 2008). Al Oeste, la Faja Plegada y Corrida del Subandino (FPCS) corresponde a la prolongación Sur del “trend” estructural de la Cuenca Huallaga (Hermoza et al., 2005a; Eude et al., 2015; Calderón et al., 2017). La Cordillera Oriental es otro rasgo importante caracterizado por ser parte del prisma orogénico que empuja y deforma la FPCS. La Cordillera

Oriental resulta de la inversión del rift triásico (Calderón et al., 2017 a,b) descrito por Rosas et al. (2007).

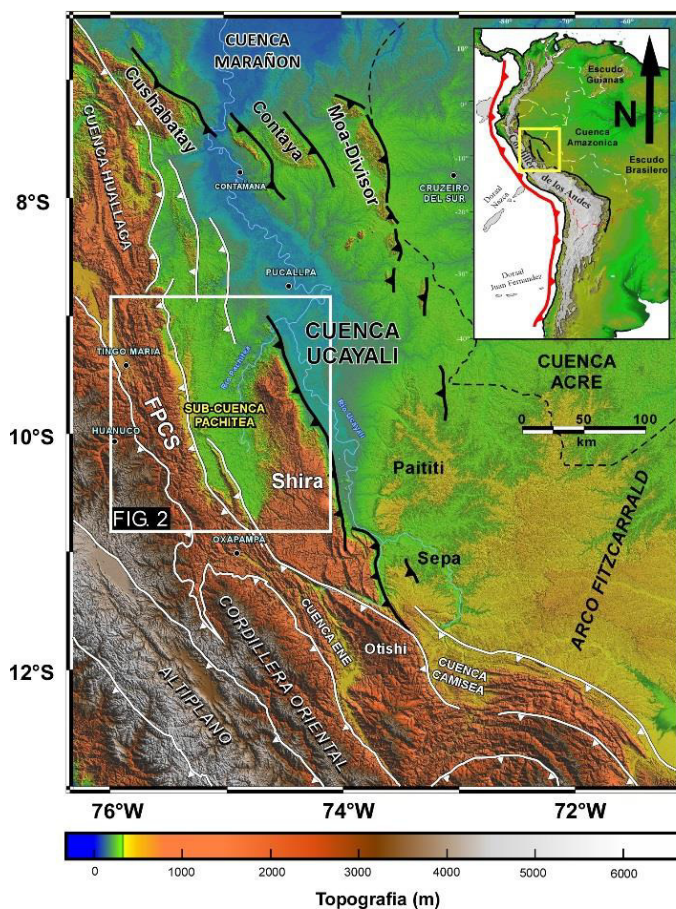


Figura 1. Mapa regional de la cuenca Ucayali y del área de estudio (Sub-cuenca Pachitea).

2.2. Contexto Estratigráfico

La Cuenca Ucayali Norte y Sub-cuenca Pachitea presentan una serie sedimentaria que comprende rocas que van desde el Pre-Cámbrico hasta el Cuaternario (Figura 2). Estas rocas han sido reconocidas, interpretadas y documentadas en afloramientos así como en subsuelo, a través de sísmica y pozos. Para el Ordovícico, los únicos afloramientos conocidos están situados a nivel del Arco de Contaya (Mathalone and Montoya, 1995). En el subsuelo, el Ordovícico (Fm. Contaya) ha sido perforado por el pozo Agua Caliente 1X y los Angeles 1X, donde se ha podido reconocer la presencia de Graptolites (Cepa, 2014). Esta unidad es conformada por lutitas gris oscuro intercaladas con areniscas blancas y grises, compactas y de pobre porosidad. El Silúrico no es reconocido en subsuelo en esta parte de la cuenca. Niveles de argilitas muy carbonosas y cuarcitas grises del Devónico, llamadas Formación Cabanillas, sobreyacen en discordancia a la Formación Contaya. Esta unidad del Devónico fue reconocida en el flanco oeste de las Montañas del Shira por Montoya & Berrospi (1990), y en los pozos Agua Caliente 1X (Parsep, 2002) y los Angeles 1-X (Cepa, 2014) (ver localización en Figura 2).

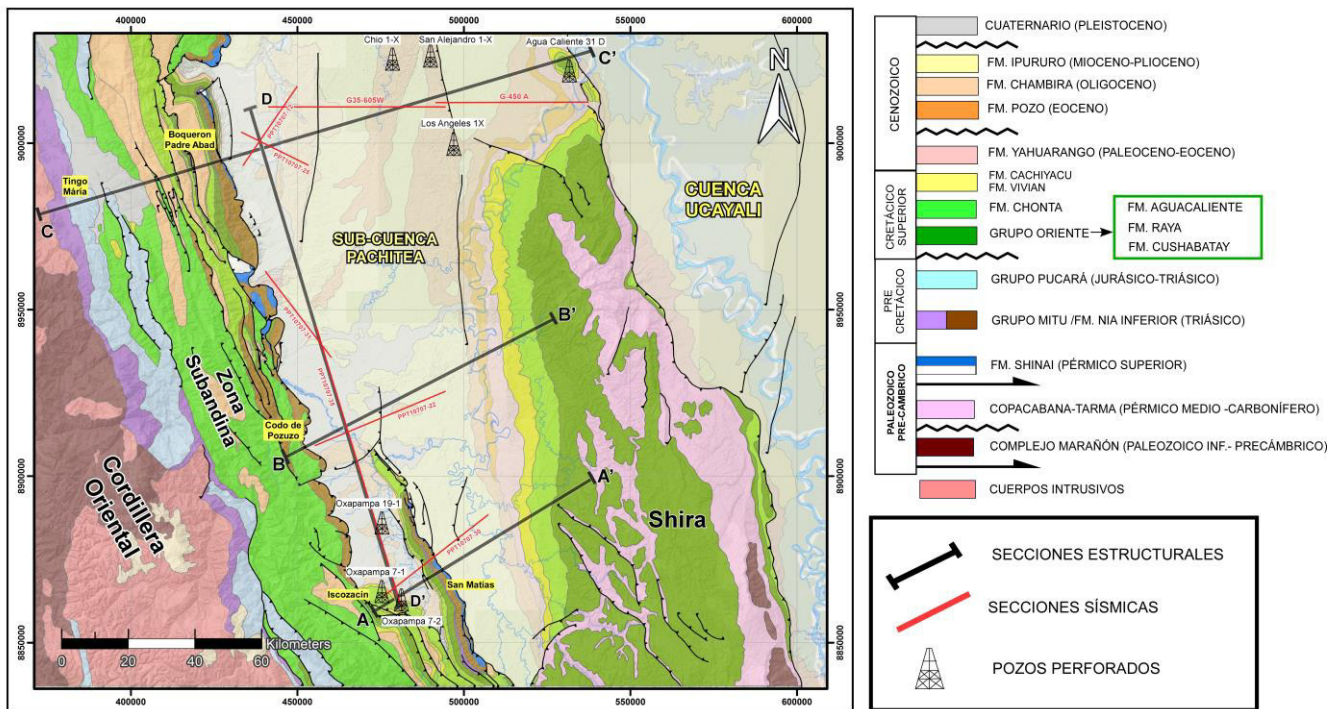


Figura 2. Mapa geológico del área de estudio con localización de las secciones estructurales balanceadas a través de la Sub-cuenca Pachitea

La serie sedimentaria del Carbonífero comprende los grupos Ambo (Mississipiano) y Tarma (Pensilvaniano). En la Sub-cuenca Pachitea, en el río Nevati (flanco occidental del Shira), se describen intercalaciones de argilitas negras a grises con areniscas y silts carbonosos de edad Tournaisiano que corresponden al Grupo Ambo (Montoya & Berrospi, 1990). Sobreyaciendo a estas capas, se encuentran 178 m de areniscas verdes de grano fino a medio, cuya matriz de argilitas es rica en cloritas, y que corresponden a la base del Grupo Tarma (Petróliera, 2009).

El Grupo Copacabana de edad Pérmico aflora en los contrafuertes del Shira (Ingemmet, 1996). En el Río Nevati (flanco occidental del Shira), el Grupo Copacabana está formado de calizas en la base, seguidas de lutitas grises a negras y calizas micriticas. Fusilínidos han sido reportados en el pozo San Alejandro 1-X (BP, 2008). En el Lote 107, en la Cordillera San Matías, Allica (2007) interpreta a las rocas pre-cretácicas aflorando como unidades del Permo-Triásico, las cuales documenta en su tesis como Grupo Ene y Grupo Mitu. Estas unidades antiguamente fueron reconocidas por Ingemmet (1996), PanEnergy (1998) y Occidental (2003), como parte del Grupo Pucará (Triásico Superior - Jurásico Inferior) y de la Formación Sarayaquillo (Jurásico Superior). Posteriormente, los trabajos de Gil et al. (2001), Gil (2002), Baby et al. (2007), Petróliera (2009) a partir de levantamientos geológicos a lo largo de la Cordillera de San Matías acaban por diferenciar a las formaciones Noi, Shinai y Nia Inferior (equivalente a la estratigrafía de Camisea) junto con el Grupo Mitu. Toda esta serie se encuentra bajo la superficie de erosión de la base del Cretácico Superior (Formación Cushabatay). La serie Triásico-Jurásica está conformada por el Grupo

Pucará y la Formación Sarayaquillo reportados en afloramientos y pozos por CERROPET (1961), PanEnergy (1998) y Occidental (2003) a nivel de la Cordillera Oriental y de la zona subandina.

El Cretácico es representado por las formaciones Cushabatay, Raya, Agua Caliente, Chonta, Vivian, Cachiayacu y Huchpayacu. Estas unidades han sido registradas en la mayoría de pozos exploratorios de la Cuenca Ucayali Sur y Sub-cuenca Pachitea. En los pozos Oxapampa 7-1, Oxapampa 19-1, Oxapampa 17C-1, Chio 1-X, San Alejandro 1-X y Agua Caliente 31-D, se determina un rango de edad Albiano-Maastrichtiano que corresponde al Cretácico Superior (Parsep, 2002). En superficie la serie cretácica aflora en el flanco occidental de la Cordillera de San Matías, las Montañas de Shira y el segmento del subandino. En la Cuenca Ucayali, el Paleógeno (Paleoceno-Eoceno) se encuentra constituido por las formaciones Casa Blanca y Yahuarango (Lower Red Beds) (Corelab, 2012). Los trabajos de campo realizados por Occidental (2003) muestran que, en áreas donde no se registra la Formación Casa Blanca, es muy difícil diferenciar los sedimentos rojos cretáceos de las series paleógenas. A partir del Eoceno y hasta la actualidad, las rocas sedimentarias corresponden a secuencias controladas directamente por la migración del frente orogénico y la geometría de la cuenca de ante-país (Hermeza, 2005). El Eoceno-Neógeno está constituido por las formaciones Pozo, Chambira, Ipururo y Ucayali, que registran el periodo de descarga orogénica y pueden sobrepasar los 4000 m de espesor (Hermeza, 2005).

3. Metodología de Trabajo

3.1. Adquisición e integración de información de superficie

Esta información presenta dos componentes: las campañas de campo realizadas en la carretera Tingo María-Aguaytia-Río Palcazú y carretera Puerto Bermúdez por el grupo de IRD-PETROLIFERA-PERUPETRO en el 2013-2014 (Figura 3), del cual se tomó un control de datos estratigráficos y estructurales; la compilación de información de superficie levantadas por las campañas de Occidental (2003), PanEnergy (1998), Ingemmet (1997), Petrolífera (2007-2010) e IRD (1996 y 2006). Toda esta información fue albergada e integrada en un proyecto GIS dentro de la base de datos (Figura 3).

3.2. Integración de secciones sísmicas y pozos

La información sísmica utilizada comprende las campañas de Petroperú (PGSI7476L31L35) junto con la nueva campaña de Petrolífera (PP10707), la cual fue adquirida en el año 2008-2009 (Figura 3). Para unir estas dos campañas, se tuvo que realizar un "ajustamiento" usando como nivel de referencia la discordancia regional de la base del Cretácico Superior (base de la Formación Cusabatabay). Posteriormente, se generaron sismogramas sintéticos en los pozos Oxapampa 7-1X, Oxapampa 7-2X, Oxapampa 19-1X, San Alejandro 1-X, Chio 1-X y los Angeles 1-X. Como parte de la interpretación sísmica, se procedió a la calibración de reflectores a partir de los pozos Los Angeles 1-X, San Alejandro 1-X y Chio 1-X en la parte norte,

y de los pozos Oxapampa 7-1X, Oxapampa 7-2X y Oxapampa 19-1X en la parte sur (Figura 4, Figura 5 y Figura 6). Se utilizaron también datos de superficie para complementar esta calibración. Para las correlaciones estratigráficas se usaron secciones sísmicas compuestas representadas por las figuras 4, 5 y 6.

3.3. Elaboración de mapa geológico

Dentro de la elaboración del mapa geológico regional (Figura 2), se realizó el control de calidad de los relevamientos geológicos suscitados dentro del área de estudio (Figura 3). Para ello se realizó un control de los contactos entre unidades estratigráficas y datos estructurales, los cuales fueron mapeados a partir del control de campo junto con el uso de imágenes del tipo Landsat, Alos Palsar, Aster GDEM 30m, e imágenes brindadas por el navegador de Google Earth y Google Maps.

3.4. Elaboración de una nueva propuesta de modelo litoestratigráfico

Basado en la interpretación sísmica, junto con las correlaciones de pozos y afloramientos, se procedió a construir una nueva propuesta estratigráfica tomando como base las evidencias encontradas en el presente trabajo junto con dataciones realizadas por otros autores. Este modelo litoestratigráfico (Figura 7) está representado junto con los potenciales elementos del sistema petrolero tomado de trabajos realizados por el convenio IRD-Petropetro.

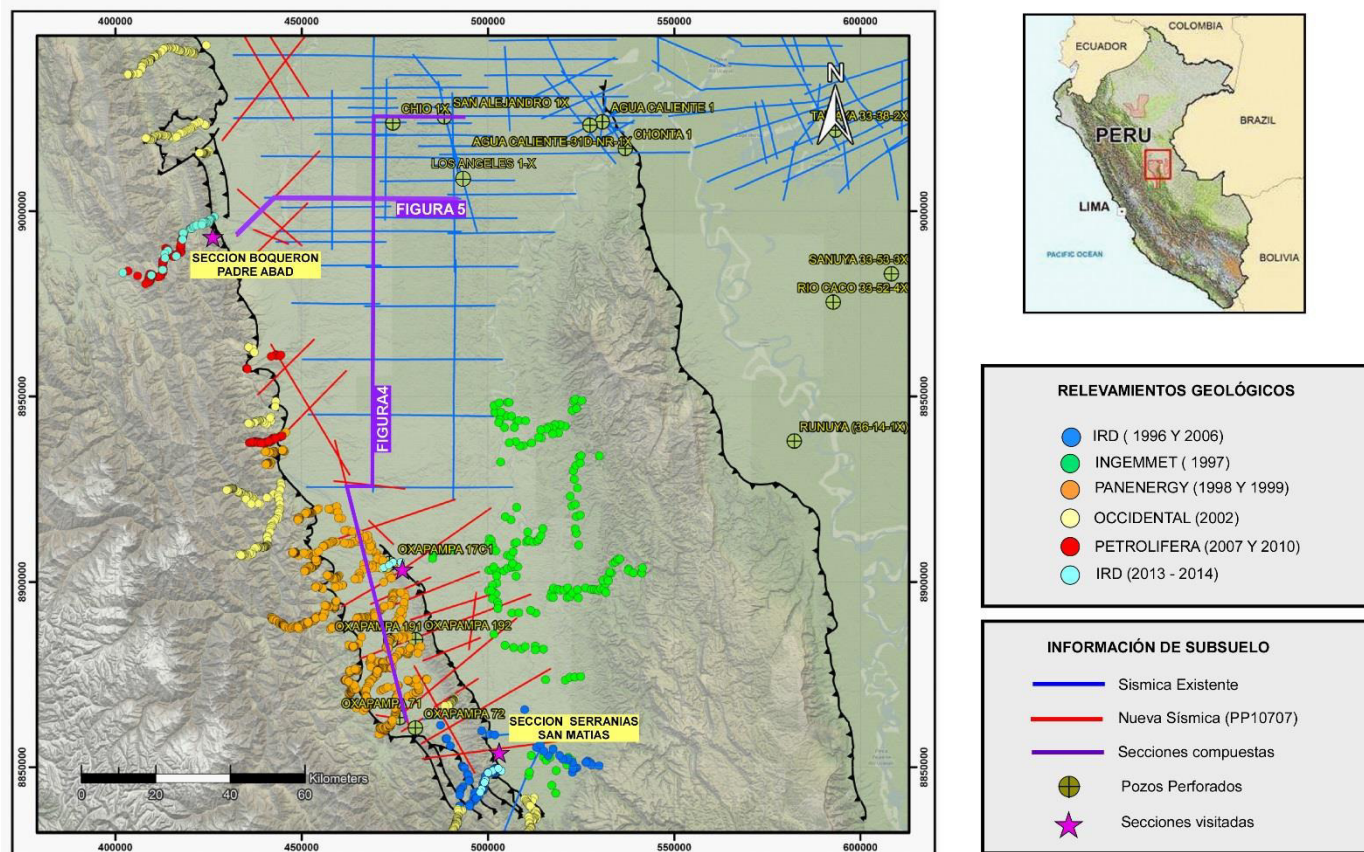


Figura 3. Ubicación de los nuevos datos estructurales y secciones sísmicas junto con datos estructurales adquiridos por otros autores, secciones sísmicas y pozos perforados.

3.5. Construcción de secciones estructurales y secciones balanceadas

Cuatro secciones estructurales han sido elaboradas con el software Midland Valley "Move" a lo largo de la Sub-cuenca Pachitea, integrando datos estructurales de afloramientos, pozos perforados y secciones sísmicas (Figuras 9, 10, 11 y 12). Tres secciones fueron balanceadas, a partir de secciones transversales en la Sub-cuenca Pachitea (Figura 2). La técnica de secciones balanceadas permite "modelar estructuras a partir de una sección estructural deformada (deformación finita) y restaurar la sección a un estado inicial no deformado con la posibilidad de simular su deformación" (tomado de Gil Rodríguez, 2002). Las secciones fueron balanceadas y restauradas usando el algoritmo del flexural-slip, considerando conservación de longitud de estratos y espesor y área constante para unidades de sal y relleno neógeno. La sección transversal se restauró a partir de la base de los estratos cretácicos (base Cushabatay), suponiendo que eran horizontales en la deposición.

4. Resultados y discusiones

4.1. Estratigrafía del Pre-Cretácico: discusión

Trabajos de PARSEP en el 2002 muestran que las unidades pre-cretácicas de la Cuenca Ucayali no son correlativas. Del SE hacia el NW, en este modelo generalmente admitido, desaparecen bruscamente las unidades pérmicas Ene, Noi y Shinai para pasar lateralmente a unidades del Triásico-Jurásico (Grupo Pucara y Formación Sarayaquillo). En la actualidad, esta correlación no tiene sustento bioestratigráfico. En la zona sur de la Cuenca Ucayali (Camisea), LCV (2002) reporta la presencia de hamiapollinites (polen marcador del Pérmico Superior) en las formaciones Shinai y Ene (Grupo Ene). El mismo marcador bioestratigráfico fue reportado en el estratotipo de la Formación Ene del Pongo de Paquitzapango (Leight & Rejas, 1966) al sur de la cuenca Ene. Más al norte, dentro del área de trabajo, específicamente en el pozo San Alejandro 1-X, Benson - PanEnergy (1998) reporta la presencia de hamiapollinites en niveles de lutitas que estaban definidas equívocamente como parte del Miembro Aramachay (Grupo Pucará). Estas evidencias abren la posibilidad de una prolongación de las unidades del Pérmico Superior (Ene, Noi y Shinai) hacia el norte, y de una nueva propuesta del modelo estratigráfico en la Cuenca Ucayali. De la misma manera, los afloramientos pre-cretácicos del Boquerón del Padre Abad fueron reportados por Occidental (2003) como unidades pertenecientes al Grupo Pucara y a la Formación Sarayaquillo sin sustento bioestratigráfico.

Hacia la Cordillera Oriental, en Tingo María, el Grupo Pucara está bien datado por amonites del Triásico Superior-Jurásico Inferior (Rosas, et al 2007). La ausencia de estos fósiles en las calizas asociadas al Grupo Pucará del Boquerón del Padre Abad deja también abierta la posibilidad de proponer otro modelo estratigráfico. La propuesta estratigráfica de este trabajo se hizo en gran parte gracias a la nueva información sísmica de Petrolífera, donde se pudo amarrar y seguir ciertos reflectores de norte

a sur. La sección sísmica compuesta de la Figura 4 está amarrada por los pozos Oxapampa 7-1 y 19-1X, Chio 1X y San Alejandro 1X. Muestra la prolongación hacia el sur, bajo el corrimiento de San Matías, del marcador Ene-Noi identificado por datación bioestratigráfica en el pozo San Alejandro 1-X (PanEnergy, 1998). Bajo este marcador, se nota claramente la serie uniforme de las formaciones Tarma y Copacabana que descansa en discordancia sobre el Devónico. Sobre el Ene-Noi, aparece un nivel de evaporitas que corresponde al nivel de despegue del corrimiento de San Matías. En el bloque alto del corrimiento de San Matías, se desarrolla la serie Triásica y Jurásica - identificada por dataciones bioestratigráficas en el pozo Oxapampa 7-1X (CERROPET, 1961) - progresivamente erosionada hacia el noreste por la base del Cretácico Superior (Figura 6). Un segundo nivel de evaporitas está puesto en evidencia en el pozo Oxapampa 7-1X en el verdadero Grupo Pucara. La presencia de evaporitas del Grupo Pucara ha sido registrada en la zona de la Cordillera Oriental (Rosas et al., 2007). En la sección sísmica compuesta (Figura 4), se puede apreciar que estos dos niveles de evaporitas pasan por un proceso de halocinesis asociado a diferentes periodos de tiempo. La Formación Sarayaquillo descrita por Occidental (2003) hacia el Boquerón del Padre Abad presenta areniscas y limolitas rojizas con facies fluviales y eólicas muy similares a la Formación Nia Inferior descrita por Petrolífera (2009). Estas unidades se encuentran por encima de las formaciones Ene, Noi y Shinai (Pérmico Superior). Debido a la ausencia de fósiles y usando la posición estratigráfica, representa el intervalo Triásico-Jurásico y corresponde al cambio lateral de facies de las unidades Pucará y Mitu que afloran en la Cordillera Oriental (Calderón et al., 2017 a,b).

A partir de esas observaciones, se tomó en cuenta las correlaciones de secciones de campo en base a similitud en litología y facies de las diferentes unidades expuestas, puesto que no se logró a obtener todavía dataciones en los afloramientos de la parte norte de la cuenca Ucayali (Hurtado, 2014, 2015). Para esta nueva propuesta (Figura 7), se tomó la nomenclatura estratigráfica ya conocida en Camisea (Pluspetrol, 2002) junto con eventos tectónicos obtenidos de los trabajos de Ramos (1988), Caputo (2014) y Chew et al. (2016).

4.2. Tectónica Pre-Cretácica: discusión

Dentro del análisis de secciones sísmicas, fue posible reconocer estructuras tipo semi-grabens, dúplex y pliegues. Estas estructuras se desarrollan principalmente en las unidades del Pre-Cretácico, y en algunos casos son reactivadas por la deformación andina.

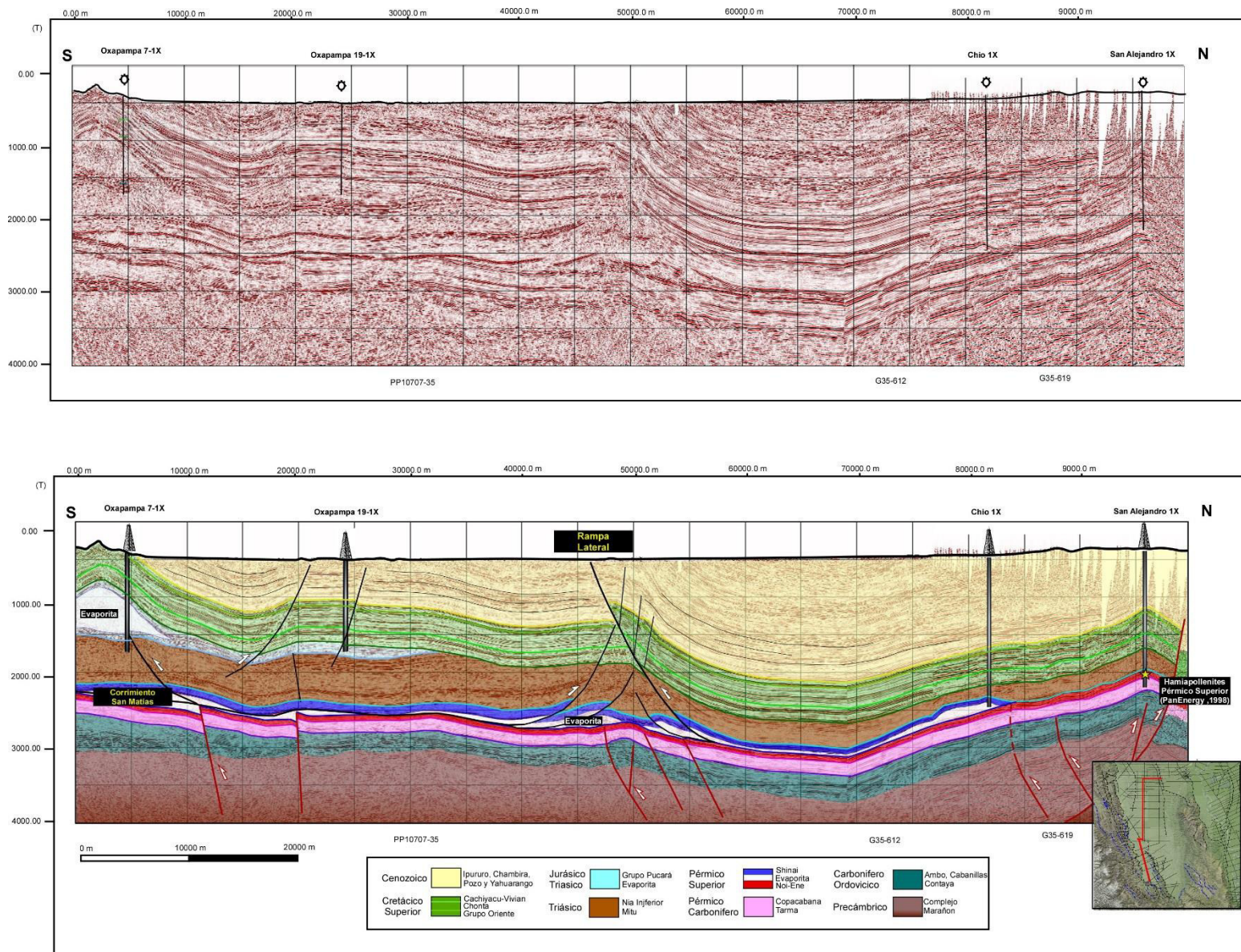


Figura 4. Sección sísmica Norte-Sur (ubicación en Figura 3) amarrada con los pozos Oxapampa 7-1, Oxapampa 19-1X, Chio 1X y San Alejandro 1X, ilustrando la correlación de reflectores, y la extensión del sistema pérmico con sus colchones de evaporitas.

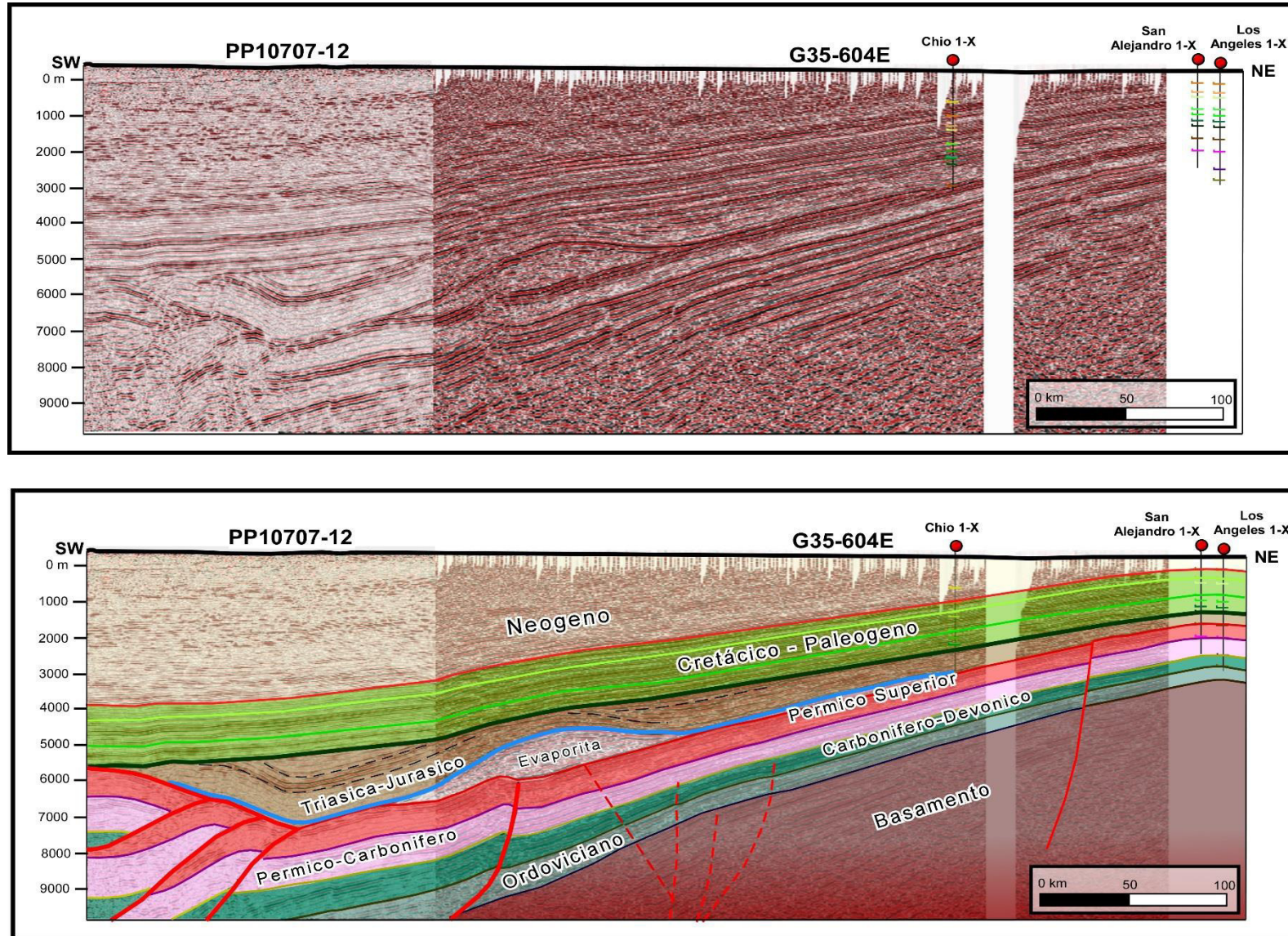


Figura 5. Sección sísmica compuesta Oeste-Este (localización en Figura 3) con secciones PP10707-12 y G35-6043E. Hacia el Oeste, se puede observar una estructura tipo dúplex sellada por la discordancia de la base del Cretácico Superior (Fm. Cushabatay).

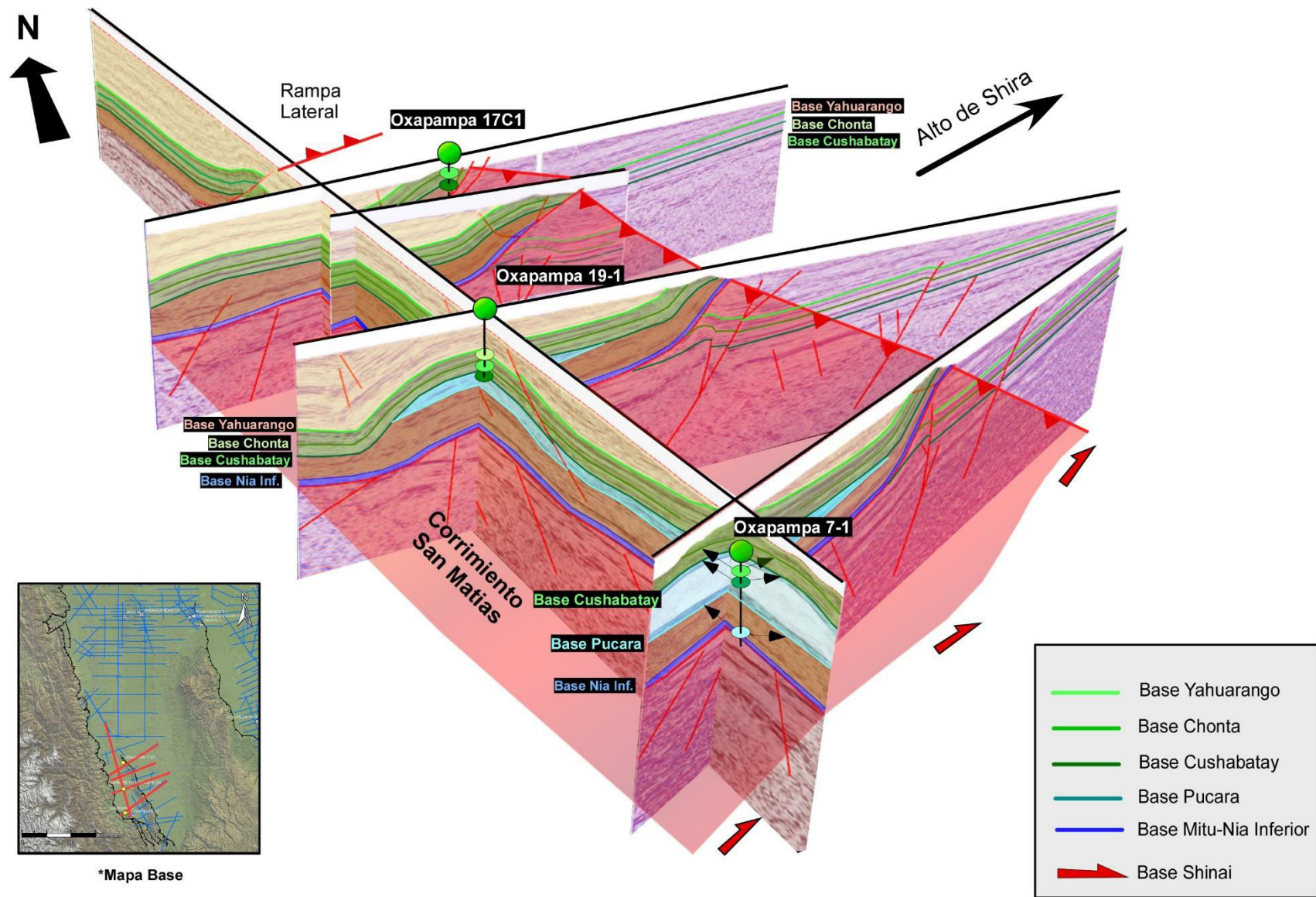


Figura 6. Interpretación 3D de área Sur de la Sub-cuenca Pachitea (Cordillera San Matías), calibrada por los pozos Oxapampa 17C-1, Oxapampa 19-1 y Oxapampa 7-1.

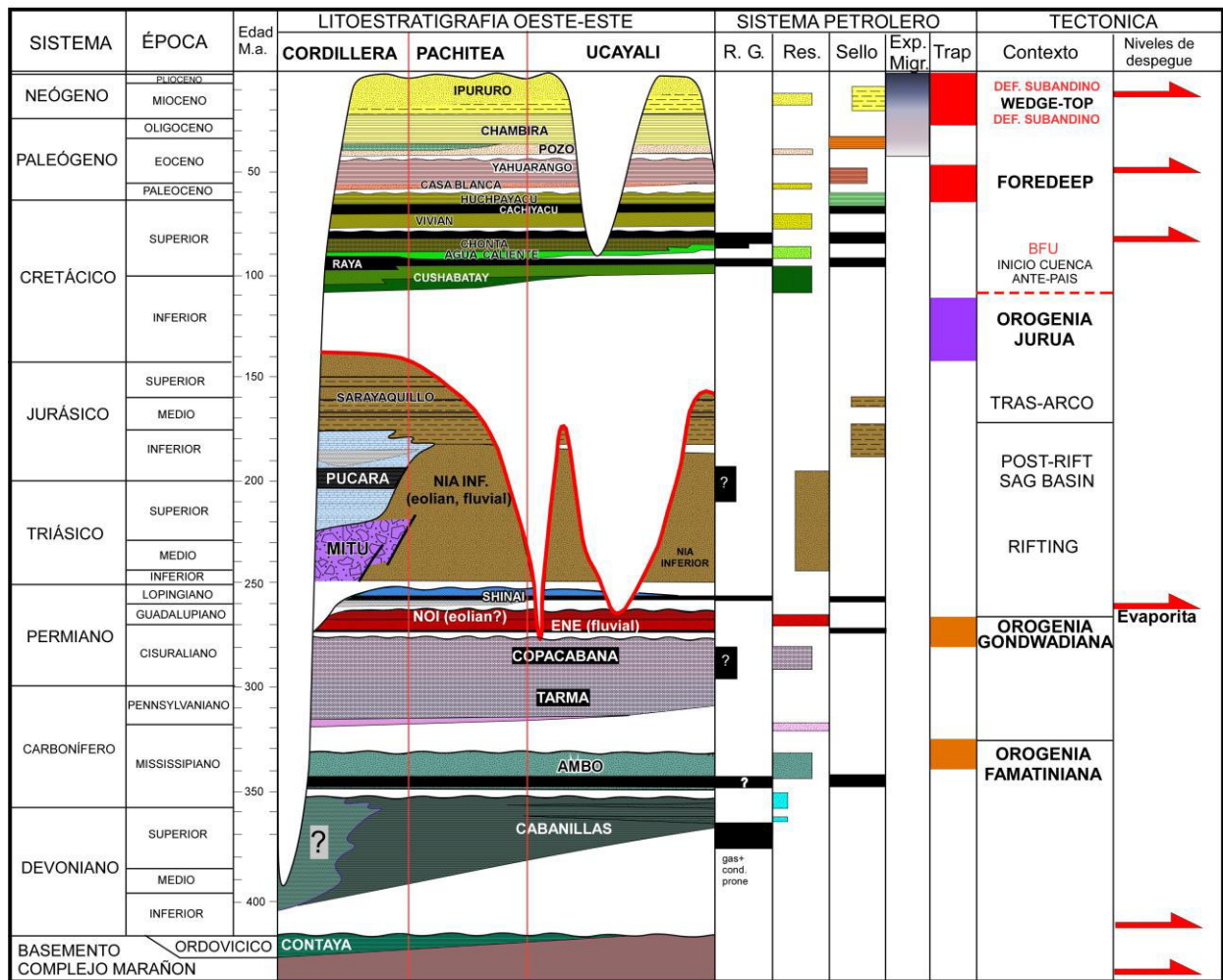


Figura 7. Diagrama litoestratigráfico de la Sub-cuenca Pachitea y Cuenca Ucayali. Los nombres para ciclos pre-orogénicos andinos han sido tomados de Ramos 1988, Caputo 2014 y Chew 2016.

4.2.1. Rift Permo-Triásico

El rift Triásico fue descrito por Rosas (2007) como un sistema de grabens y semi-grabens rellenos de depósitos aluviales y volcánicos denominados Grupo Mitu (syn-rift) de edad Triásico. Posteriormente una subsidencia termal tipo “sag” controló la depositación de la serie de post-rift denominada Grupo Pucará de edad Triásico Superior-Jurásico Inferior (Rosas, 2007). La presencia de este rift coincide con el eje de la actual Cordillera Oriental. Hacia la zona subandina, específicamente en la Cordillera de San Matías, Allcca (2006) describe un sistema de fallas normales y estructuras tipo semi-grabens que alberga los conglomerados del Grupo Mitu. Esta sistemas de fallas normales posteriormente invertidas yace por debajo del corrimiento de San Matías (Figura 6), y puede ser considerado como el límite oriental del rift (Hurtado, 2014, 2015). Dentro de la correlación de unidades pre-cretácicas en la sección compuesta Norte-Sur de la Figura 4, es posible observar fallas normales invertidas que afectan a las unidades del Paleozoico (pre-rift). Según la sísmica (Figura 4), y en el nuevo modelo estratigráfico presentado (Figura 7), el rift afecta a las evaporitas y las lutitas de la Formación Shinai. El rift se desarrolló durante gran parte del Triásico creando espacio para los depósitos proximales del Grupo Mitu (abanicos aluviales) o los depósitos más distales de la

Formación Nia Inferior (eólico, fluvial) (ver cuadro de la Figura 7).

4.2.2. Orogenia Jurua

Hacia la zona norte del área de estudio, la información sísmica muestra la presencia de una zona triangular formada por un dúplex (Figura 5) que repite niveles paleozoicos y deforma lo que se interpreta como Nia Inferior y Formación Sarayaquillo (Triásico-Jurásico Superior). Esta deformación no afecta el Cretácico Superior, por el contrario se preserva por debajo de su base erosiva. Si se confirma que esta deformación afecta a la Formación Sarayaquillo (Jurásico Superior), se la podría considerar como deformación producto de la Orogenia Jurua descrita en las cuencas de Solimoes y Acre de Brasil (Caputo, 2014), e ya descrita en Perú (Bump et al., 2008). Esta deformación se le asigna una edad Jurásica Superior-Cretácica Inferior (Caputo, 2014, Bump et al., 2008) y está también ilustrada por otras estructuras de corrimientos selladas por la base de Cushabatay en las secciones A-A' (Figura 8), B-B' (Figura 9), C-C' (Figura 10) y D-D' (Figura 11). La Orogenia Jurua está incluida en el último diagrama litoestratigráfico propuesto en el marco del convenio IRD-PERUPETRO (Figura 7), y debe ser considerado como un elemento importante del sistema petrolero.

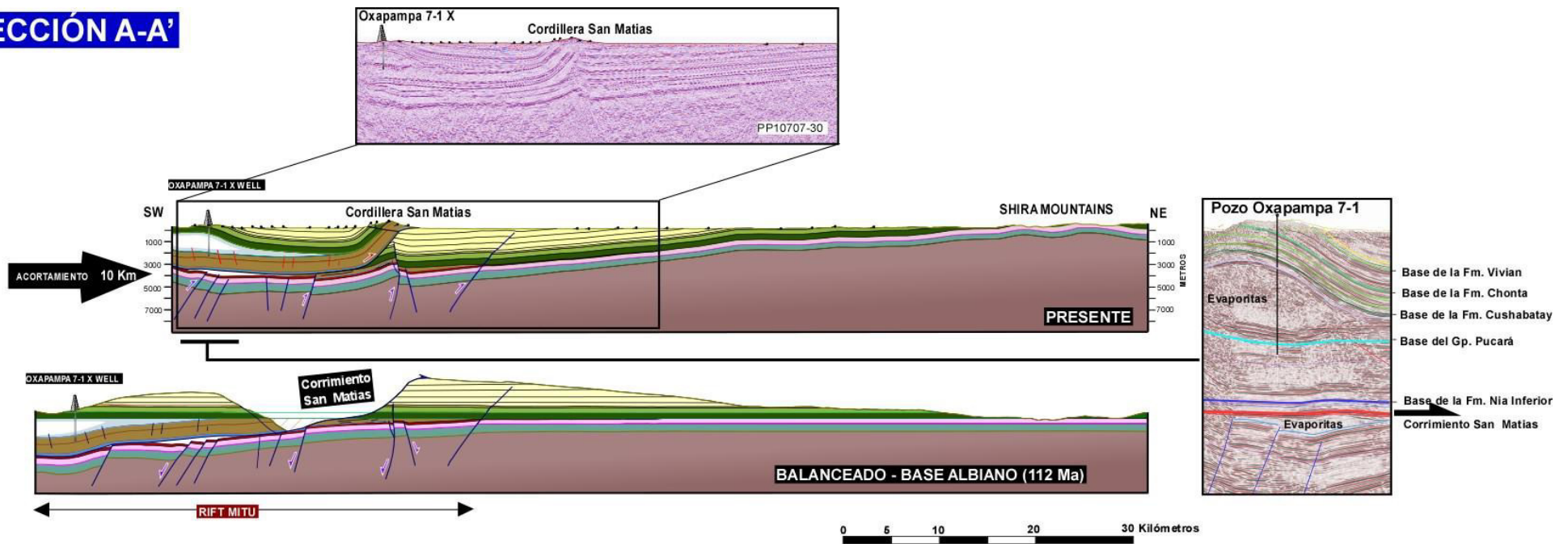
SECCIÓN A-A'

Figura 8. Sección estructural balanceada A-A' pasando por la Cordillera San Matías y el diapiro de Oxapampa (ubicación en Figura 2).

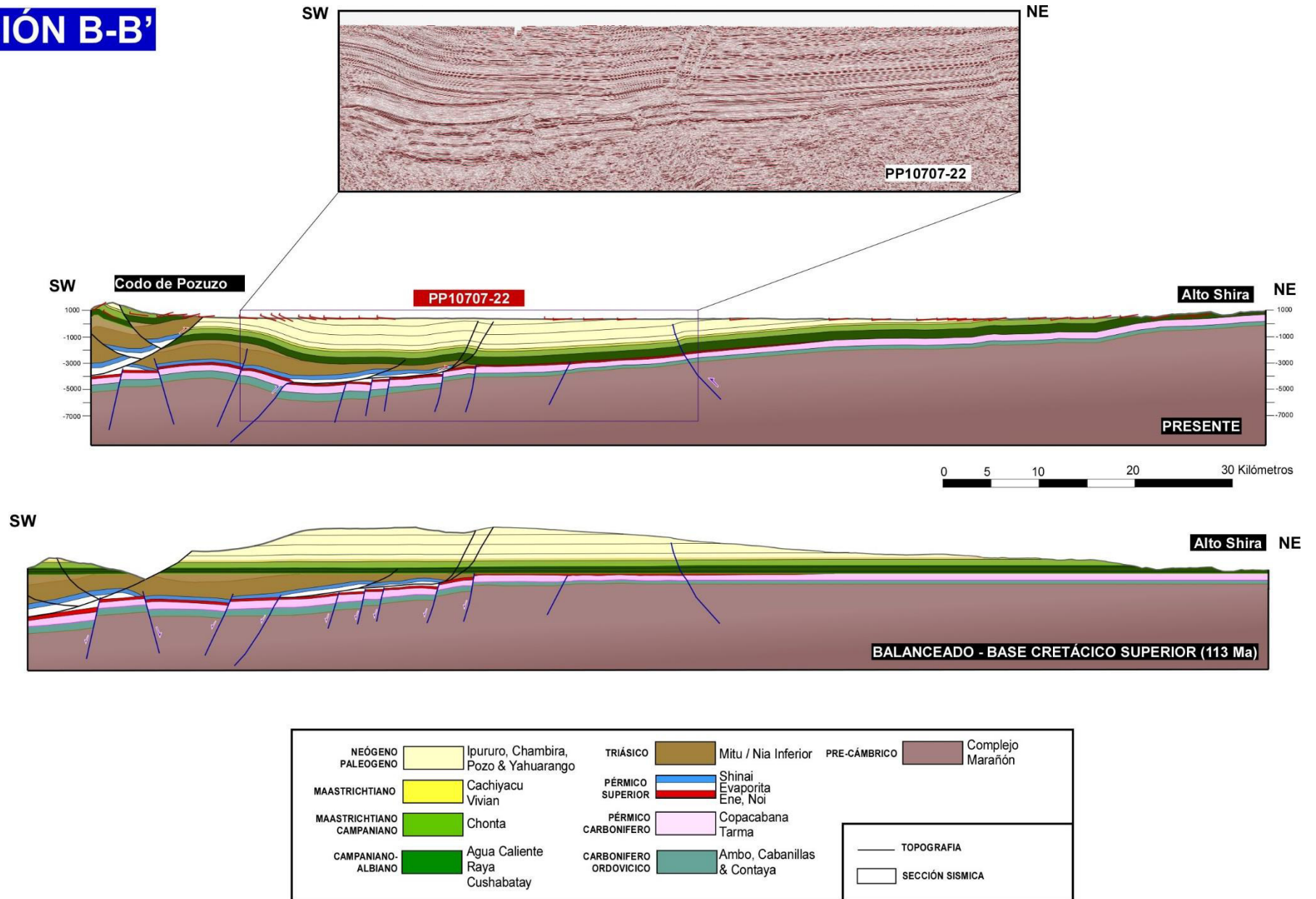
SECCIÓN B-B'

Figura 9. Sección estructural balanceada B-B' pasando por el Codo de Pozuzo y el Alto del Shira (ubicación en la Figura 2).

4.3. Secciones estructurales balanceadas

4.3.1. Sección A-A' (Oxapampa- San Matías- Shira)

Para la construcción de la sección A-A' (Figura 8), se utilizó los datos de campo de Occidental (2003), Petrolífera (2009) e Ingemmet (Cuadrángulo "20-n", Río Palcazu, 1997) integrados junto con la nueva data de campo adquirida por IRD (2014) ver mapa Figura 3) y la información procedente de la sección sísmica PP10707-30 (Petrolífera) y el pozo Oxapampa 7-1X. La zona oriental de esta sección está conformada por las Montañas del Shira que representan un bloque de basamento levantado por una tectónica "thick-skinned" que se discutirá más adelante.

El frente de corrimiento de San Matías es de tipo "thin-skinned" (Figuras 6 y 8) con un despegue basal que se propaga en la base de la Fm. Shinai o en las evaporitas subyacentes del Pérmico Terminal. El corrimiento de San Matías es de gran amplitud (Figura 6) y transporta pasivamente las series triásicas y jurásicas deformadas por el diapiro de Oxapampa (Figura 8). El bloque bajo del corrimiento de San Matías está afectado por fallas inversas de basamento que corresponden probablemente a la inversión de fallas normales del rift triásico. La sección balanceada (Figura 8) muestra un acortamiento total de 10 km concentrado esencialmente sobre el corrimiento de San Matías.

4.3.2. Sección B-B' (Codo de Pozuzo - Shira)

Para la sección centro B-B' (Figura 9), se utilizó los datos de campo de Occidental (2003) y la sección sísmica PP10707-22. El dispositivo estructural es comparable al de la sección A-A' (Figura 8), pero con menos acortamiento. El corrimiento frontal de San Matías se amortigua y forma un pliegue por propagación de falla. Un poco más al oeste, la sísmica muestra un corrimiento erosionado y sellado por la base del Cretácico. Esta deformación compresiva corresponde a la deformación Juruá descrita más arriba (ver diagrama Figura 7) y definida en Brasil (Caputo, 2014). En el borde occidental, emerge el corrimiento del Codo de Pozuzo que corresponde al nuevo frente emergente subandino. Se conecta sobre el mismo despegue basal formado por las evaporitas pérmicas. En el bloque bajo, se puede apreciar una importante antiformal resultando de la inversión de fallas de rift triásico.

4.3.1. Sección C-C' (Tingo María-Boquerón Padre Abad - Agua Caliente)

Para la construcción de la sección norte C-C' (Figura 10), se utilizó los datos de campo de Occidental (2003), Petrolífera (2009) e IRD (2013-2014), las secciones sísmicas PP10707-12, G35-604E Y G35-605 W, y los pozos Chio 1-X, San Alejandro 1-X, Los Angeles 1-X y Aguaytia 31-D.

La sección C-C (Figura 10) es la sección más importante de este trabajo. Es una sección regional que va desde el hundimiento norte del Shira hasta la Cordillera Oriental. Al Este, el frente de corrimiento del Shira corresponde a la estructura Agua Caliente. Más al Oeste, el mismo tipo de

corrimiento de basamento genera la estructura San Alejandro. Este sistema "thick-skinned" se conecta sobre un despegue ubicado a 28 km de profundidad buzando hacia el oeste por debajo de la Sub-cuenca Pachitea, donde se puede correlacionar con sismos de profundidad intermedia (Devlin et al. 2012). En la parte occidental, la zona subandina está deformada por imbricaciones que se conectan sobre el despegue del Pérmico Terminal (base Shinai y evaporitas), que constituye el techo de un dúplex profundo de Paleozoico. Parte de este dúplex ya existía antes del Cretácico Superior como lo muestra la sísmica (Figura 5) en el bloque bajo del corrimiento frontal subandino (Boquerón Padre Abad). De hecho, esta sección sísmica muestra un dúplex (antiformal stack) erosionado y sellado por los depósitos de la Fm. Cushabatay. Este dúplex parece haber jugado un papel importante en la propagación del frente subandino actual. El segmento del corrimiento frontal del Boquerón del Padre Abad representa una zona de máxima deformación donde se reconocen inclinaciones verticales de capas que exponen en su totalidad la serie pre-cretácica. Esta concentración de deformación en el corrimiento frontal podría ser explicada por la presencia de este dúplex desarrollado durante la Orogenia Juruá (ver más arriba), antes de la configuración del sistema de faja plegada subandina.

La Cordillera Oriental (Tingo María) corresponde a la inversión del rift triásico y forma el "backstop" que transmite el acortamiento a la zona subandina. Este dispositivo de inversión de rift está bien ilustrado por la sección balanceada (Figura 10). El estado intermedio muestra que la propagación del sistema de corrimientos empezó antes del Cretácico Superior (16 km de acortamiento), durante la Orogenia Juruá. La sección muestra actualmente un acortamiento total de 53 kilómetros. Este acortamiento se comparte verticalmente: 43 Km se acomoda en la zona subandina y 10 Km es transferido en el sistema de corrimientos profundos de San Alejandro y Agua Caliente (thick-skinned tectonics).

4.3.1. Sección D-D' (Boquerón Padre Abad - Iscozacín)

Para la sección norte-sur D-D' (Figura 11), se utilizó la información de la sísmica de las secciones PP10707-31, PP10707-35 y PP10707-25 junto con los pozos Oxapampa 7-1, Oxapampa 7-2 y Oxapampa 19-1.

Esta sección estructural (Figura 11) ilustra la geometría de las secuencias pre-cretácicas y sus relaciones con la deformación subandina. Se nota claramente el despegue regional asociado a las evaporitas probablemente asociadas a la Formación Shinai. Los colchones de esas evaporitas son bien nítidos en profundidad bajo los pozos de Oxapampa que atravesaron las evaporitas superiores del Grupo Pucara (ver también Figura 4). El bloque de Iscozacín está limitado al oeste de los pozos Oxapampa por una rampa lateral.

Se puede apreciar también la deformación del sistema de corrimientos de la Orogenia Juruá sellada por el Cretácico Superior.

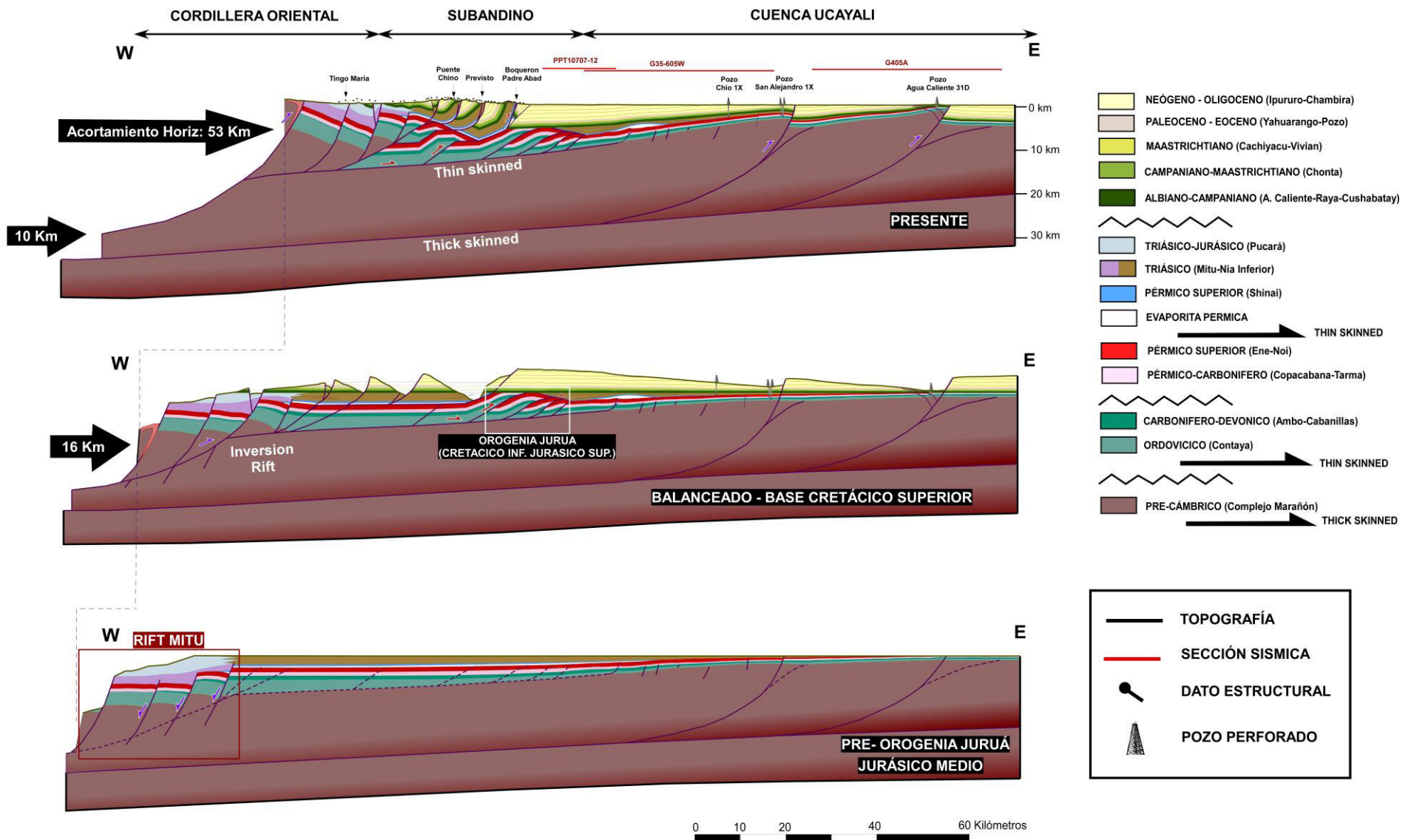
SECCIÓN C-C'

Figura 10. Sección estructural balanceada C-C' pasando por el Boquerón del Padre Abad y las estructuras San Alejandro y Agua Caliente (ubicación en Figura 2). El estado intermedio representa el estado de deformación al inicio del Cretácico Superior.

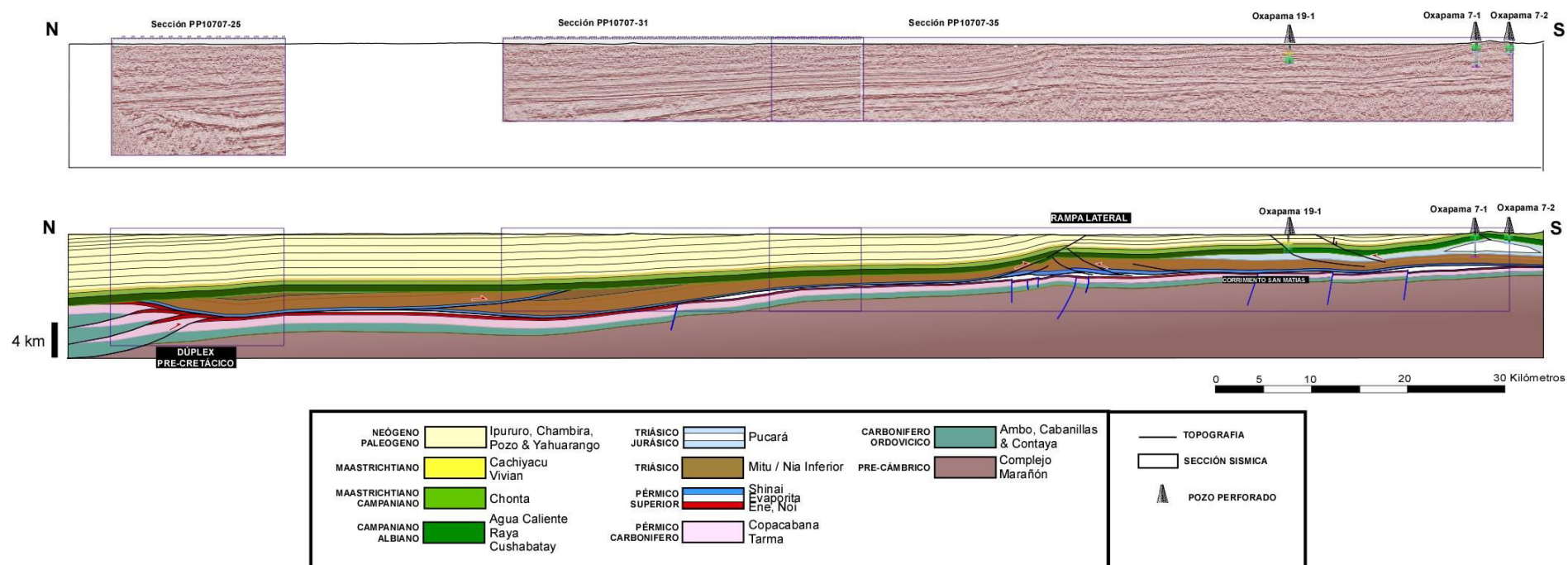
SECCIÓN D-D'

Figura 11. Sección estructural Norte-Sur D-D' cruzando la Sub-cuenca Pachitea desde Oxapampa (Sur) hasta el Boquerón del Padre Abad (Norte). Ubicación en la Figura 2.

5. Conclusiones y Recomendaciones

La zona noroccidental de la cuenca Ucayali presenta una evolución ligada a tectónica “thin-skinned” (zona subandina) y tectónica “thick-skinned” (estructuras San Alejandro y Agua Caliente). Esta evolución se registra desde el Jurásico superior-Cretácico inferior (Orogenia Juruá).

La nueva propuesta estratigráfica marca la extensión norte de niveles pérmicos y triásicos registrados al sur de la cuenca Ucayali (campo de Camisea), la presencia de dos niveles evaporíticos atribuidos al Triásico-Jurásico (Grupo Pucará) y a finales del Pérmico (Formación Shinai). Para confirmar esta correlación, es recomendable un análisis sedimentológico y geocronológico de las unidades pre-cretácicas mencionadas en esta parte de la cuenca.

La nueva sísmica muestra estructuras complejas combinando corrimientos, semi-graben invertidos y dúplex preservados por debajo de la discordancia basal de la Fm. Cushabatay, que señalan la presencia de una tectónica compresiva pre-cretácica que no estaba registrada en esta parte de la cuenca.

El sistema de corrimientos subandinos “thin-skinned” está conectado a dos niveles de despegue principales; el más profundo está ubicado posiblemente en el Paleozoico inferior (Formación Contaya), y superior en las evaporitas pérmicas (Formación Shinai). En la parte sur de la Subcuenca Pachitea, el acortamiento horizontal se manifiesta principalmente por la emergencia del corrimiento frontal de San Matías que puede mostrar hasta 10 km de rechazo.

Al norte, la sección del Boquerón Padre Abad muestra un dúplex pre-cretácico que controló la propagación de la deformación subandina cenozoica. La Cordillera Oriental corresponde al rift Triásico invertido y forma el “backstop” de la zona subandina. La sección presenta un acortamiento total de 53 km.

La presencia de estructuras pre-cretácicas compresivas bien preservadas bajo la discordancia basal de la Fm. Cushabatay abre nuevas perspectivas de exploración en esta parte de la Cuenca Ucayali. Este nuevo “play” estructural debe ser investigado a partir de adquisiciones sísmicas enfocadas al Pre-Cretácico, y de estudios regionales pluridisciplinarios permitiendo calibrar mejor la estratigrafía y los eventos tectónicos del Pérmico superior y del Mesozoico.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al convenio tripartito entre IRD-Petrolífera-Perupetro SA., y fue parte de mi tesis de grado de ingeniero geólogo. Quisiera agradecer en especial al Dr. Patrice Baby, Ing. Rolando Bolaños, Ing. Ysabel Calderón, Ing. Carlos Monges, Ing. Esteban Gobbo y Msc. Javier Jacay por la confianza y el apoyo brindado para realizar esta investigación.

Referencias

Allcca, M. A. 2007. La sub cuenca Pachitea: estructura, nueva estratigrafía y potencial hidrocarburofero. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Ingeniería.

- Baby P., Allcca M., Minaya I., y Hermoza W., 2007. Informe Final, convenio IRD-BPZ-PETROLIFERA (septiembre de 2007), 59 p, 34 fig., 12 fotos.
- BP, 2008. Peru Regional Chronostratigraphy Stratigraphic Analysis of 14 Wells in the Subandean Basins of Peru (banco de datos PERUPETRO).
- Bump, A., Kennan, L., and Fallon, J., 2008, Structural history of the Andean foreland, Peru, and its relation to subduction zone dynamics, in American Association of Petroleum Geologists Annual Convention and Exhibition: San Antonio, Texas, American Association of Petroleum Geologists, search and discovery article 30062.
- Calderón Y., P. Baby, Y. Vela, C. Hurtado, A. Eude, M. Roddaz, S. Brusset, G. Calvès and R. Bolaños, 2017a, Petroleum systems restoration of the Huallaga-Marañon Andean retroforeland basin, Peru: In Mahdi A. AbuAli, Isabelle Moretti, and Hege M. Nordgård Bolås, eds., Petroleum Systems Analysis: AAPG Memoir 114, p. 91–112.
- Calderón, Y., P. Baby, C. Hurtado, and S. Brusset, 2017b, Thrust tectonics in the Andean retro-foreland basin of northern Peru: Permian inheritances and petroleum implications: Marine and Petroleum Geology v. 82, p. 238–250, doi:10.1016/j.marpetgeo.2017.02.009
- Caputo M. V., 2014. Juruá Orogeny: Brazil and Andean Countries. Brazilian Journal of Geology, 44(2), 181-190.
- Cerro de Pasco Petroleum Corporation. 1961, Palinological Examination Report of Oxapampa 7-1. IPP20248 (código, base de datos PERUPETRO)
- CGS Consultores Asociados & Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 1997. Geología de los cuadrángulos de Codo del Pozuzo y Rio Palcazu, hojas: 20-m y 20-n. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 88, 144 p., 2 mapas.
- CEPSA, 2014, Final Well Report of Los Angeles 1-X/1XST.
- Chew, D. M., G. Pedemonte, and E. Corbett, 2016, Proto-Andean evolution of the Eastern Cordillera of Peru: Gondwana Research, v. 35, p. 59–78, doi:10.1016/j.gr.2016.03.016.
- Corelab, 2012, Peru Regional Reservoirs and Seals. (Technical Report), (banco de datos PERUPETRO).
- DeCelles, P. G., 2012, Foreland Basin Systems Revisited: Variations in Response to Tectonic Settings, in Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances: p. 405–426, doi:10.1002/9781444347166.ch20.
- Devlin, S., B. L. Isacks, M. E. Pritchard, W. D. Barnhart, and R. B. Lohman, 2012. Depths and focal mechanisms of crustal earthquakes in the central Andes determined from teleseismic waveform analysis and InSAR: Tectonics, v. 31, no. 2, p. 1–33, doi:10.1029/2011TC002914.
- Esput N., Brusset S., Baby P., Hermoza W., Bolaños R., Uyen D., Déramond J. 2008. Paleozoic structural controls on shortening transfer in the Subandean foreland thrust system, Ene and southern Ucayali basins, Peru, Tectonics, 27 (3), TC3009.
- Eude, A., M. Roddaz, S. Brichau, S. Brusset, Y. Calderón, P. Baby, and J.-C. Soula, 2015, Controls on timing of exhumation and deformation in the northern Peruvian eastern Andean wedge as inferred from low-temperature thermochronology and balanced cross section: Tectonics, v. 34, no. 4, doi:10.1002/2014TC003641.
- Gil Rodríguez, W., P. Baby, and J.-F. Ballard, 2001, Structure and palaeogeographic control of the Peruvian Subandean

- zone: Comptes Rendus de l'Académie de Sciences - Serie IIa: Sciences de la Terre et des Planetes, v. 333, no. 11, doi:10.1016/S1251-8050(01)01693-7.
- Gil Rodriguez, W., 2002. Evolución lateral de la deformación de un frente orogénico: ejemplo de las cuencas subandinas entre 0° y 16° S. Sociedad Geológica del Perú, Publicación especial, 4, 146 p.
- Hermoza, W., S. Brusset, P. Baby, W. Gil, M. Roddaz, N. Guerrero, and M. Bolaños, 2005a, The Huallaga foreland basin evolution: Thrust propagation in a deltaic environment, northern Peruvian Andes: Journal of South American Earth Sciences, v. 19, no. 1 SPEC. ISS., doi:10.1016/j.jsames.2004.06.005.
- Hermoza, W., 2005. "Reporte Técnico Cuenca Ucayali, Avance 2005", PERUPETRO. Lima, Banco de Datos Perupetro, pp. 2, 28, 31, 32, 33, 35, 36, 38.
- Hurtado, C., Baby P., Calderón Y., Bolaños R., Pelliza H. y Monges C., 2014. Arquitectura estratigráfica y estructural con un nuevo sistema petrolero en la zona noroccidental de la cuenca Ucayali: VIII INGEPET (GEO-EX-CH-04-N).
- Hurtado, C., 2015. Arquitectura Estructural y Sistema Petrolero de la zona Noroccidental de la cuenca Ucayali. Tesis de Grado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. 1996, Geología de los cuadrángulos de Chuchurras, Ulcumayo, Oxapampa y La Merced 21-m, 22-l, 22-m, 23-m [Boletín A 78].
- LCV DEL PERÚ, 2002. Informe Palinológico pozo San Martín-1. Pluspetrol. Informe interno PLUSPETROL.
- Leight R. & Rejas A., 1966. Columna estratigráfica Pongo de Paquitzapango, Rio Ene, Rapport inédit Petroperu.
- Mathalone, J. M. P., and Montoya R., M., 1995, Petroleum geology of the sub-Andean basins of Peru, in A. J. Tankard, R. Suárez S., and H. J. Welsink, Petroleum basins of South America: American Association of Petroleum Geologists Memoir 62, p. 423-444.
- Montoya M & Berrospi A., 1990. Secciones estratigráficas quebradas Apurucayali y Nevati, cuenca Ucayali. Reporte Inédito PETROPERU.
- Occidental Petrolera del Perú, 2003. Reporte Final Convenio de Evaluación Técnica (TEA).
- PanEnergy, 1998, Reconocimiento Pozo Oxapampa 19-1, lote 40, ITP20694 (código, banco de datos PERUPETRO), pp 01-10.
- PanEnergy, 1998. Palinological Report on San Alejandro 1X, Perú by G. Benson (banco de datos PERUPETRO).
- PanEnergy, 1998, San Alejandro 1X, Well Report, block 85, ITP20612 (código, base de datos PERUPETRO).
- PARSEP, 2002. Ucayali - Ene Basin Technical Report. Proyecto de asistencia para la Reglamentación del sector energético del Perú, PERUPETRO S. A., Lima Perú.
- Petrolífera, 2009. Informe Final del Primer Periodo de la Fase de Exploración - Lote 107 - Cuenca Ucayali (banco de datos PERUPETRO).
- Ramos, V. A., 1988. The tectonics of the Central Andes; 30° to 33° S latitude: Special Paper of the Geological Society of America, v. 218, p. 31-54, doi:10.1130/SPE218-p31.
- Rosas, S., L. Fontbote, and A. Tankard, 2007. Tectonic evolution and paleogeography of the Mesozoic Pucara Basin, central Peru, J. S. Am. Earth Sci., 24, 1-24.
- Witte, J., J. Rebaza, D. Westlund, M. Stratton, and C. Alegria, 2015. A new structural model of the Pachitea Basin, Peru: Interaction of thick-skinned tectonics and salt detached thrusting: Journal of South American Earth Sciences, v. 63, p. 400-416, doi:10.1016/j.jsames.2015.04.008.