Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe ISSN 0079-1091

Integración regional y análisis evolutivo de las cuencas Ucayali Sur y Madre de Dios

W. Hermoza[1], H. Abdallah[1], T. Castro[1], G. Zamora[2], A. Vayssaire[1], y E. Figari[1]

[1] Repsol Exploración, Dpto. de Geología, Special Projects Area, Pº Castellana 280, 1b, 28046, Madrid, España.
[2] Repsol Exploración, Dpto. Exploración Pacífico, Av. V. A. Belaunde 171, P. 3, San Isidro, Lima, Perú.

ABSTRACT

The objective of this contribution is to consolidate in one single model of more than 100.000 km² the structural and stratigraphic data of Ucayali South and Madre de Dios Basins (Peru). After this regional study that integrates all the available data from outcrops, seismic, potential methods and wells, some previous ideas have been confirmed but also new ones appeared.

From the stratigraphic point of view some incoherencies for the Nia Group and Ene Fm have been identified within the currently used nomenclature, so a new stratigraphy is proposed.

In the structural style, an important change along Tambo fault or Tambo unit limit possible location has been recognized because it limits the northern area with thick-skinned deformation from the southern area with a predominance of thin-skinned deformation. In southernmost part of the basin (Candamo and Karene areas), the structural style is dominated by a complex geometry of triangle zones.

Multiple source rocks are present in Ucayali and Madre de Dios basins. The Upper Devonian Cabanillas is considered as a world-class source rock in the Bolivian part of Madre de Dios basin. These source rocks reached a sufficient level of maturity to expel hydrocarbons along the fold and thrust belt. Ambo expulsed hydrocarbons essentially to the south of Kinteroni-Camisea gas fields. The area where Cabanillas is supposed to having generated most of the hydrocarbons is located along a large stripe that follows the fold and thrust belt in Madre de Dios basin and where Ene reached its maximum production yield in the south of the studied area.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es consolidar en un mismo modelo de más de 100,000 km² la información estructural y estratigráfica de las cuencas de Ucayali Sur y Madre de Dios (Perú). Después de este estudio que integra toda la información disponible desde afloramientos, sísmica, métodos potenciales y pozos, algunas ideas preconcebidas han sido confirmadas, pero nuevas han aparecido. Desde la visión estratigráfica se han identificado algunas incoherencias en el uso de la actual nomenclatura para el Grupo Nia y la Formación Ene, por lo que se propone una nueva estratigrafía. En la parte estructural, un importante cambio a lo largo de la Falla Tambo o unidad Tambo, se ha identificado un posible limite debido a que limita por el área norte con una gruesa deformación del área del sur con una predominante deformación delgada. En la parte más al sur de la cuenca (áreas de Candamo y Karene), el arreglo estructural está dominado por una compleja geometría de zonas de triángulo. Se tiene la presencia de múltiples rocas madres en las cuencas de Ucayali y de Madre de Dios. En la parte boliviana de la cuenca Madre de Dios, el Devoniano superior el Cabanillas es considerado una roca madre de clase mundial. Estas rocas madres alcanzaron un nivel de maduración suficiente para expeler hidrocarburos a lo largo del plegamiento y la faja plegada. El Ambo expulsó hidrocarburos esencialmente al sur de los campos de gas de Kinteroni y Camisea. Las áreas donde el Cabanillas se asume ha generado la mayoría de los hidrocarburos está ubicada a lo largo de una larga faja que sigue del plegamiento y la faja plegada en la cuenca de Madre de Dios, y donde el Ene ha alcanzado su máxima producción en la parte sur estudiada.

1. Introducción

En nuestros días, los avances tecnológicos utilizados por la industria petrolera para la exploración de hidrocarburos han tenido un importante impacto en el avance del conocimiento. Sin embargo existen muchas áreas con escasa o nula información de subsuelo. Ello representa un desafío para los geocientistas en busca de metodologías que permitan integrar los diferentes tipos de datos de superficie con aquellos obtenidos del subsuelo. La integración de estos datos aporta una valiosa información para la construcción de modelos estáticos y dinámicos de evolución de sistemas petroleros, deformación estructural y estratigráfica. En este trabajo se presenta la metodología aplicada en un proyecto regional localizado al sur del Perú (cuencas Ucayali Sur y Madre de Dios). El área de estudio cubre más de 100.000 km^2 y corresponde básicamente a dos cuencas con abundante información de subsuelo, separadas por una zona con escasa información. El objetivo principal fue analizar la geodinámica y evolución de los sistemas petroleros integrando ambas cuencas, para lo cual es fundamental generar un único modelo de cuenca regional usando la integración de diferentes tipos

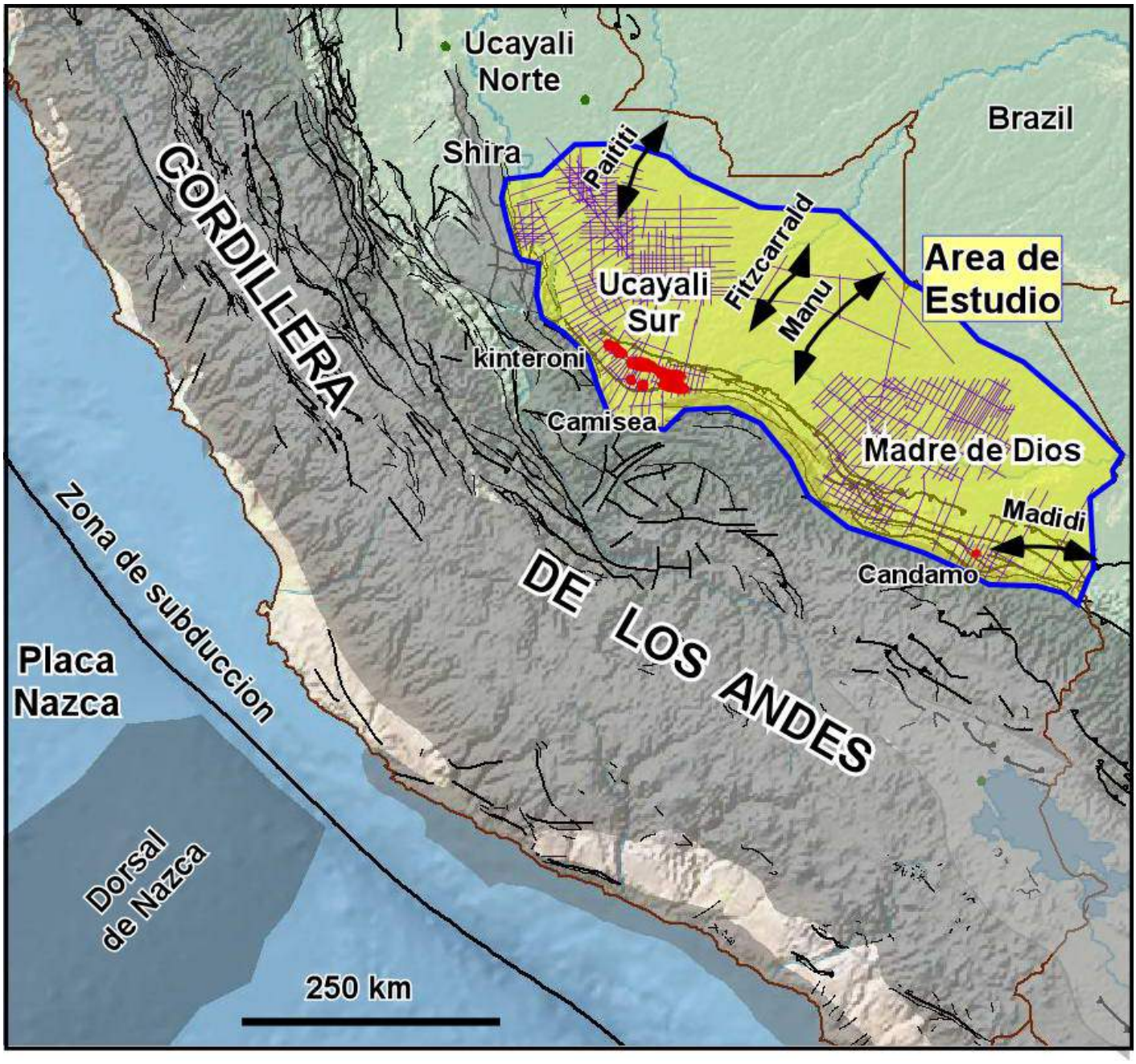

Figura 1. Mapa de ubicación y base de datos.

2. Marco regional

Las cuencas Ucayali Sur y Madre de Dios constituyen parte del sistema de cuenca del antepaís de los Andes Centrales, cuyo emplazamiento se encuentra ligado a la subducción de la placa oceánica Nazca por debajo de la placa continental Sudamericana. La configuración morfo-estructural moderna, tal como lo apreciamos hoy en día ocurre en los últimos 10 millones de años. Los elementos morfo-estructurales más importantes corresponden a los arcos de Fitzcarrald, Manu, Paititi y Madidi (Fig. 1). El arco de Fitzcarrald separa las actuales cuencas Ucayali Sur y Madre de Dios.

Estructuralmente, la faja plegada de las cuencas Ucayali Sur y Madre de Dios corresponden a una serie de corrimientos, *duplexes* y sinclinales transportados de amplia y corta longitud de onda que involucran secuencias del Paleozoico superior y Cretácico. La columna lito-estratigráfica se inicia con secuencias marinas profundas, restringidas y depósitos peri-glaciales del Paleozoico inferior, seguido por depósitos deltaicos, estuarinos y plataformas carbonatadas sub-litorales del Paleozoico superior. El intervalo Pérmico superior-Triásico- Jurasico corresponde a secuencias marinas someras, lagunares, dunas eólicas, así como depósitos fluviales, los cuales constituyen los principales reservorios del sureste peruano. Un importante hiatus separa las secuencias cretácicas de las anteriores. Estas secuencias corresponden a depósitos marino somero, estuario y fluvial. Suprayaciendo al Cretácico, se desarrollan las secuencias mayormente continentales del Terciario y Cuaternario. Desde el punto de vista exploratorio, en esta área han sido descubiertos alrededor de 4.49 BBOE de reservas equivalentes recuperables (Macellari & Hermoza, 2009). Los grandes volúmenes de gas y condensados de los campos San Martin, Pagoreni, Mipaya, Cashiriari, Kinteroni y Candamo se encuentran almacenadas en casi todos los reservorios existentes dentro del intervalo Pérmico – Cretácico.

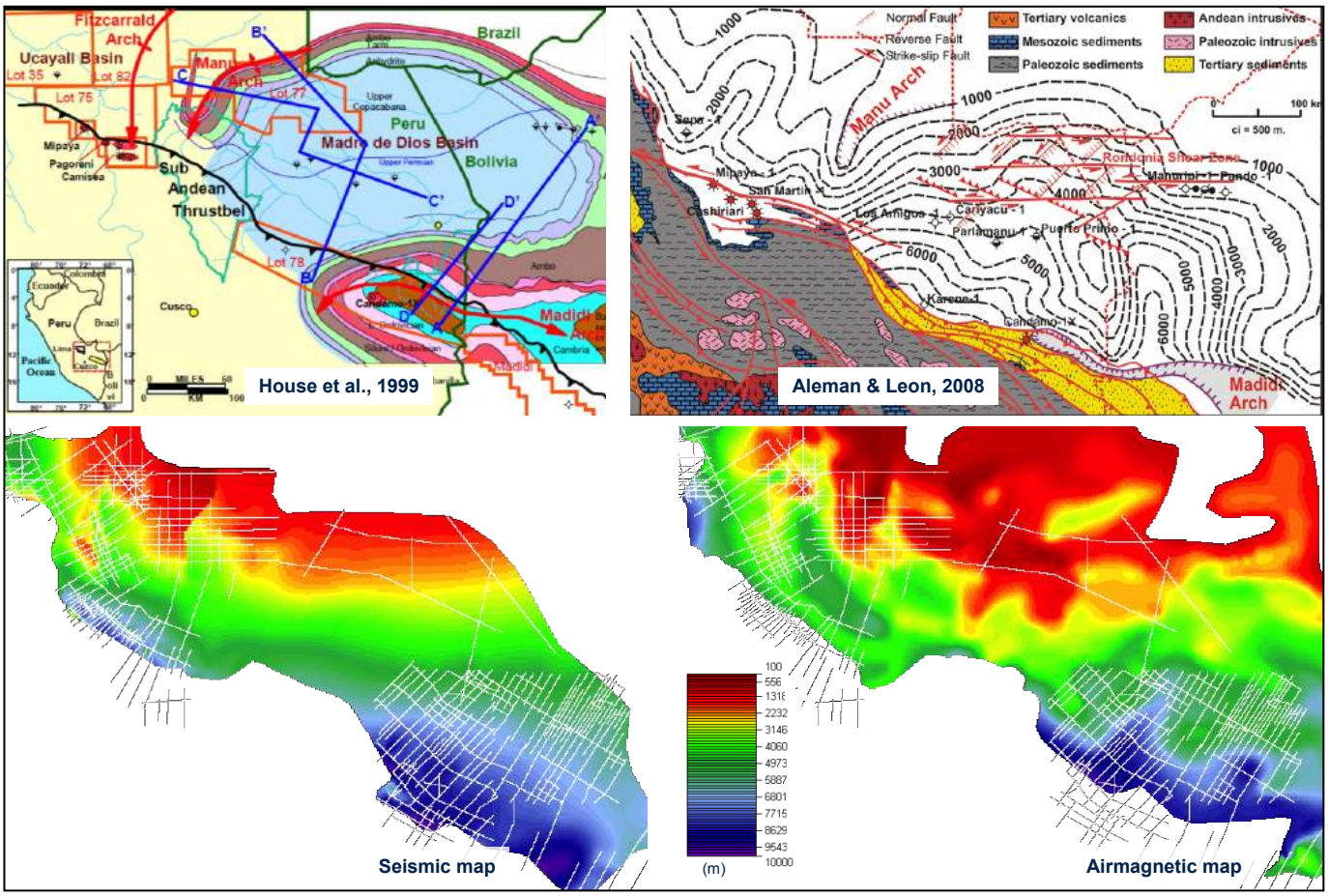

Figura 2. Mapas del basamento de diferentes fuentes

3. Problemática

Clásicamente, la mayoría de los trabajos de evolución y modelado de sistemas petroleros, estructurales y estratigráficos se encuentran concentrados únicamente en la Cuenca Ucayali Sur y/o en la cuenca Madre de Dios por separado. Sin embargo, no existen trabajos que vinculen estas dos zonas en un único modelo de cuenca. Ello se debe básicamente a la falta de información de subsuelo entre ambas zonas, lo cual no permite correlacionar e integrar fácilmente las diferentes peculiaridades estratigráficas y estructurales de dichas cuencas. En este proyecto regional interno de Repsol, uno de nuestros objetivos principales fue construir un único modelo de

cuenca 3D para las cuencas Ucayali Sur y Madre de Dios, extendiendo hacia la faja plegada, para lo cual se integraron diferentes tipos de datos, tales como la sísmica de reflexión, métodos potenciales, sondeos, mapas geológicos, columnas litológicas, y resultados de estudios previos en la región.

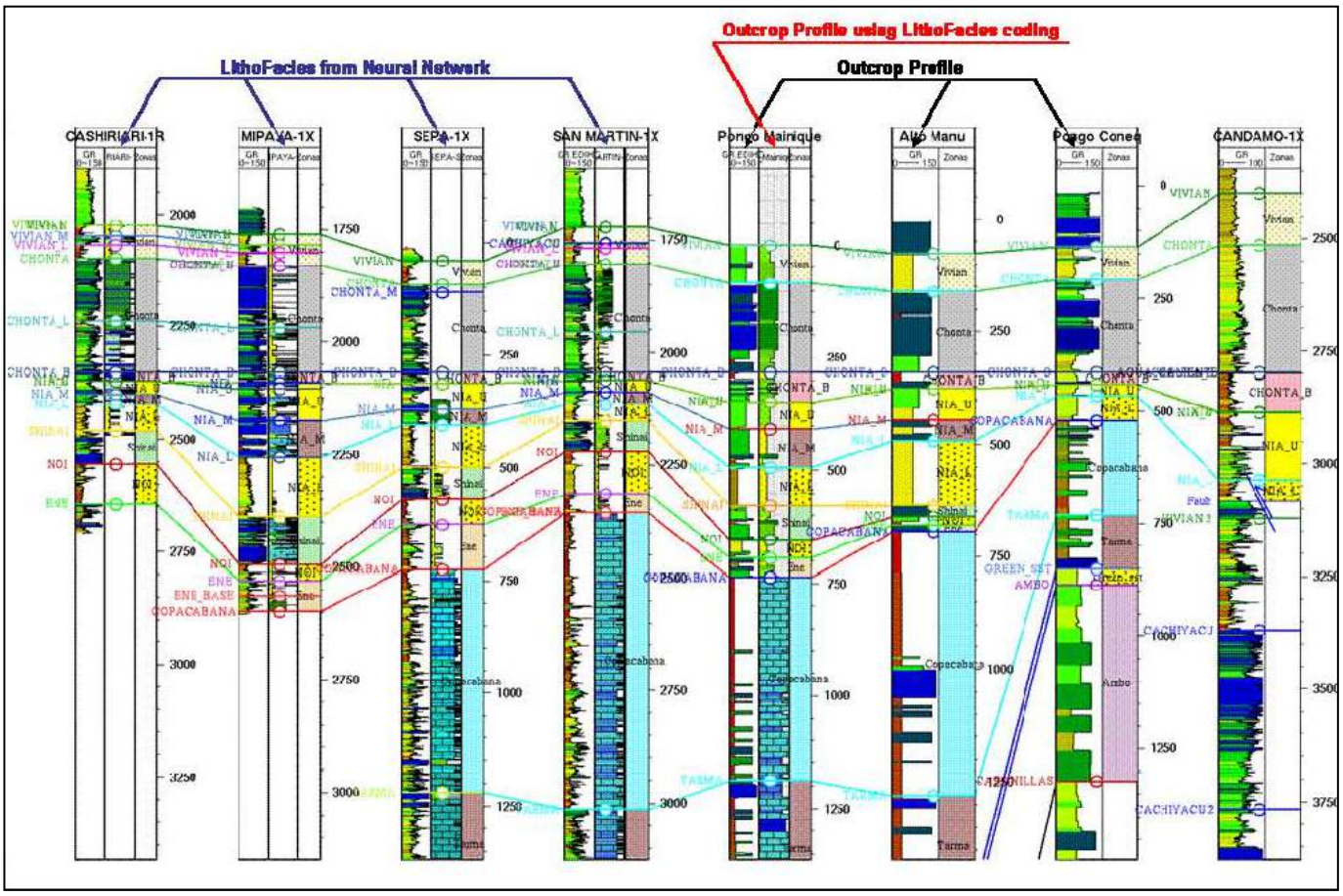

Figura 3. Integración de pozos y pseudo-pozos generados a partir de datos de campo.

4. Metodología e interpretación

Primeramente, se recopiló la información geológica y geofísica disponible sobre el área de estudio para luego integrarla en una única base de datos dentro de una plataforma *Geoframe* y *GIS* y realizar un modelado 3D en *Temis*. En su mayoría, el área de estudio esta cubierta por líneas sísmicas 2D, cuya calidad varía de regular a buena en el área de Ucayali Sur y de regular a mala y menor densidad en Madre de Dios. En el área de Camisea donde se disponía de un cubo sísmico. Para la calibración pozos/sísmica se construyeron alrededor de 11 sismogramas sintéticos y se correlacionaron los principales niveles estratigráficos del área redefiniéndose los límites de secuencias mayores. Se realizaron varios cortes estructurales balanceados. En general, el mapeo sísmico de la mayoría de los horizontes. Correspondiente a límites de secuencias mayores, se logro propagar por ambas cuencas. La complejidad y dificultad fue mayor en la cercanía de la faja plegada, donde la imagen sísmica es de menor calidad, por cual se integro mapas geológicos y afloramientos. En una primera etapa, los mapas estructurales fueron generados independientemente para ambas zonas, luego aplicando algoritmos matemáticos se unieron. Como se menciono anteriormente el *gap* de información de subsuelo existente entre ambas zonas no permitía tener control sobre la geometría real de las superficies y los mapas obtenidos no reflejaban la morfología estructural descrita por la literatura. Para resolver estas incertidumbres usamos mapas regionales del basamento como calibración, información de pozos y columnas litológicas levantadas en campo por diferentes autores (Repsol, reportes internos ; Gil, 2002, Hermoza, 1999; etc.) y se amplió y extendió los mapas originales.

La integración de la superficie de basamento (House et al., 1999; Shepherd et al., 2002; Aleman & Leon, 2008; Fig. 2) derivada de la información gravimétrica y aero-magnética, nos permitió definir la morfología general de esta zona, caracterizada por la presencia del arco de Manu, así como delimitar y explicar el adelgazamiento de las diferentes unidades hacia el alto.

La integración y análisis de la información de pozos y pseudo-pozos construidos a partir de columnas litológicas nos permitió generar mapas de tendencias petrofísicas, litofacies y correlación estratigráficas entre ambas zonas. Para ello, se crearon pozos ficticios, donde las columnas litológicas de campo detalladas y distribuidas a lo largo de la faja plegada fueron digitalizadas, cargadas y simuladas por una curva sintética de Gamma Ray (GR). Posteriormente, se caracterizó diagráficamente las

diferentes unidades litológicas correlacionando con las curvas de los pozos existentes en el área de Camisea-Kinteroni, y Candamo.

Finalmente todos los datos fueron integrados en un proyecto *Neural Network* para la codificación y correlación de litofacies (Fig. 3). Este proceso nos permitió integrar los datos superficie dentro del modelo petrofísico regional.

5. Resultados

El estilo estructural de la faja plegada de las cuencas Ucayali y Madre de Dios, corresponde básicamente a un sistema de *duplexes*, apilamientos y complejas zonas triangulares que involucran rocas del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico. Un brusco cambio a lo largo de la denominada Falla de Tambo muestra su importancia en el control de la deformación a lo largo del tiempo. Al norte, la deformación es claramente *thick-shinned*, mientras que al sur, la deformación se incrementa, aumenta el espesor del Paleozoico Inferior y se inicia el estilo mayormente *thin-skinned*.

En la cuenca Ucayali Sur, la deformación se traduce en una serie de corrimientos y sinclinales transportados, mientras que en la cuenca Madre de Dios, los *duplexes* y apilamientos, hacia la parte frontal, generan un amplio sinclinal neógeno. Las potenciales trampas se encuentran localizadas en las zonas triangulares y los apilamientos estructurales (Repsol, inéditos; Espurt et al., 2008; Disalvo et al., 2002; Gil, 2001 ; etc.).

Desde el punto de vista estratigráfico, una de las discontinuidades más importantes corresponde a la base de las secuencias cretácicas. En la parte norte de la cuenca Ucayali Sur, la intensidad erosiva es mucho mayor, llegando a eliminar completamente los reservorios pérmicos y triásico-jurásicos. En el área de la cuenca Madre Dios, su intensidad erosiva es menor. Sin embargo en esta cuenca, una discontinuidad de posible edad Carbonífero superior tiene un papel más importante. Hacia el sur y suroeste de la cuenca Madre de Dios, erosiona el Carbonífero inferior y Devónico *p.p.* (Fig. 4).

Se identificaron algunas incoherencias en la nomenclatura usada corrientemente para el Grupo Nia (Lower, Middle y Upper). El intervalo denominado Upper Nia presenta un brusco cambio en ambientes y edad, incluyendo además una discordancia en su base, por lo que se propone segregarla del Grupo y asignarle un nombre independiente. Otra discrepancia identificada corresponde a la Fm Ene, al nivel de la cuenca Ucayali Sur es mayormente arenoso, mientras que en la Madre de Dios podría estar presente una unidad más lutitica, lo cual sugiere que probablemente constituyan dos unidades distintas.

Desde el punto de vista de la evaluación de los elementos del sistema petrolero, múltiples rocas madres existen en estas zonas. La Fm Cabanillas del Devónico superior es considerada una *world class source rock* en la parte boliviana de la cuenca de Madre de Dios. En Ucayali Sur, la Fm Ambo, del Carbonífero inferior ha alimentado a los campos del área de Camisea y Kinteroni, mientras que los hidrocarburos encontrados en Candamo 1-X, en la cuenca de Madre de Dios pueden ser asignados a una migración proveniente posiblemente del intervalo pérmico Copacabana/Ene.

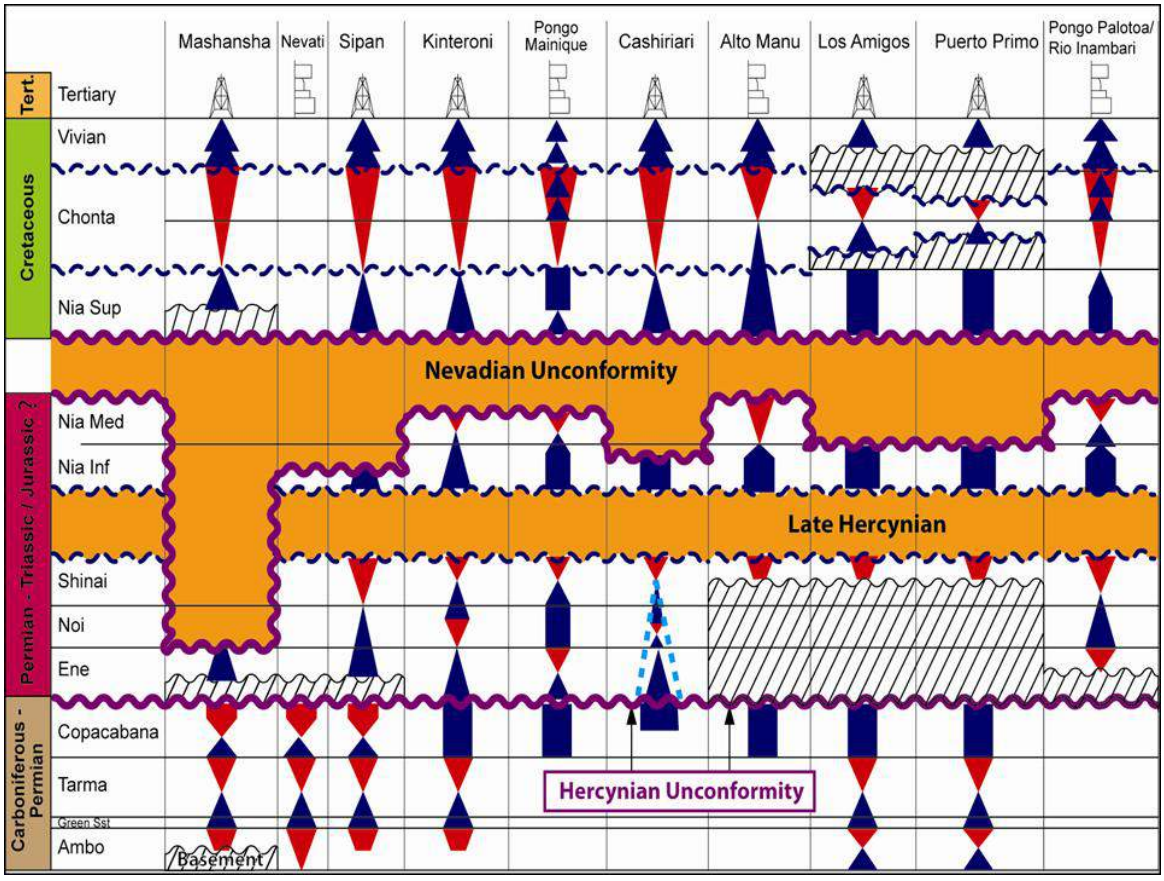

Figura 4. Carta cronoestratigráfica presentado las secciones de afloramientos y sondeos más representativos.

6. Conclusiones

La comprensión de los sistemas petroleros, evolución geodinámica y futuras estrategias exploratorias, en la mayoría de los casos requiere de una visión a escala regional. En muchas áreas, como el descrito en el presente trabajo, es difícil integrar algunas zonas dentro de los modelos, debido a la falta de datos. Es en estos casos cuando debemos recurrir a la información geológica de campo (mapas, columnas litológicas, datos estructurales, etc.), métodos potenciales y a la recopilación y análisis de trabajos previos. El flujo de trabajo aplicado debe traducir estos datos en un lenguaje que permita ser integrado en las diferentes herramientas de interpretación y/o simulación que utilicemos.

En nuestro caso, esta metodología nos permitió integrar las cuencas Ucayali Sur y Madre de Dios en un solo modelo regional, el cual contiene todo los elementos necesarios para analizar regionalmente la evolución estructural y estratigráfica de esta zona, así como realizar las simulaciones de evolución de sistemas petroleros (generación, expulsión, migración y entrampamiento de hidrocarburos).

Agradecimientos

A Repsol Exploración Madrid y la Gerencia de Exploración de Repsol Perú por autorizar y permitir la publicación de este trabajo. A Manuel Gutiérrez y Julio Salazar por su valioso trabajo técnico.

Referencias

Abdallah, H., Hermoza, W., Castro T., Zamora G., Vayssaire A., Gutiérrez, M., Salazar, J., Figari, E. 2011, Petroleum potential in Ucayali South/ Madre de Dios Basin (Peru). Reporte interno (inédito), Repsol.

Aleman, A., Léon W. 2008. Petroleum systems of the Madre de Dios basin and its associated fold and thrust Belt: Peru and Bolivia. In : Sistemas Petroleros de la Cuencas Andinas, VII Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos.

Disalvo, A., Arteaga, M., Chung, J. 2002. Geometría de las trampas y análisis estructural en el área de Camisea y sus alrededores, Cuenca de Ucayali, Oriente de Peru. Ingepet, Lima.

Espurt, N., Brusset, S., Baby, P., Hermoza, W., Bolaños, R., Uyen, D., Déramond, J. 2008. Paleozoic structural controls on shortening transfering the sub-Andean foreland thrust system, Ene and southern Ucayali basins, Peru. Tectonics, v. 27, TC3009.

Gil, W.F. 2001. Evolución lateral de la deformación de un frente orogénico: Ejemplo de las cuencas subandinas entre 0º y 16ºS. PhD thesis, Paul Savatier University, 137 p.

Hermoza, W. 2000. Análisis de las relaciones tectónica-erosión-sedimentación del Terciario de la Cuenca Madre de Dios, Perú. Tesis de grado, Univ. San Antonio Abad del Cusco.

House, N., Carpenter D., Cunningham P., Berumen M. 1999. Influence of Paleozoic arches on structural style and stratigraphic in the Madre de Dios Basin in Southern Bolivia and Northern Peru. INGEPET, Lima.

Macellari, C., Hermoza, W. 2009. Subandean segmentation and its impact on the petroleum exploration in the Central/Northern Andes. X Simposio Bolivariano, Cartagena, Colombia.

Shepherd, R., House, N., Webster, R. 2002. Assessment of potentially large, shallow stratigraphic traps, Manu arch, Madre de Dios Dasin, Peru. Ingepet, Lima.

Sciamanna, S., Reinantes, S., Anzulovich, L. 2004. Peru onshore, Cuenca Ucayali-Madre de Dios, Bloques 57, 90 y TEA 80: Análisis del sistema petrolero. Reporte interno (inédito), Repsol-YPF.