



# Cuencas emergentes: Potencial hidrocarburífero de los reservorios carbonatados jurásicos y paleozoicos en la Faja Subandina peruana

**Marco Vásquez y Diego Venturo**

Repsol Exploración Perú, Victor Andrés Belaúnde #147, Centro Empresarial, torre X, piso 2, San Isidro, Lima 27, Perú

## 1. Introducción

Los carbonatos en el mundo albergan una gran cantidad de hidrocarburos. Sin embargo, muchas veces están mal vistos por las interrelaciones complicadas o la casi ausencia de porosidad, permeabilidad, y otras propiedades de los yacimientos. Esta comprensión es un total desafío a los geólogos que muchas veces al no entenderlos llegamos a conclusiones fáciles y que sólo nos llevan a seguir teniendo a estas rocas lejos de las posibilidades de ampliar los análisis y poder definirlos como objetivos primarios.

Las cuencas emergentes de rocas carbonatadas del Jurásico y del Paleozoico, potenciales reservorios pertenecientes a los Grupos Pucará y Copacabana-Tarma respectivamente, presentan características petrofísicas muy importantes en algunos sectores de las cuencas subandinas y deben ser estudiadas con mayor detalle para ser consideradas como objetivos reservorios primarios. Las características petrofísicas del Grupo Copacabana-Tarma y su distribución en las cuencas subandinas fueron presentados en trabajos publicados anteriormente (Vásquez, 2011, 2012, 2013).

En las cuencas Ucayali y Madre de Dios se identificaron 7 ciclos y un ambiente de depósito carbonatado de plataforma interna y externa, siendo hasta el momento confirmado por el pozo Mapi y los pozos de la estructura Mipaya, estos últimos probados y actualmente en producción en conjunto con los niveles clásticos de las formaciones Noi y Ene.

El Grupo Pucará ha sido presentado en varios trabajos y las zonas de mayor interés están en las cuencas Marañón, Huallaga, Santiago, y Ucayali, obteniéndose hasta el momento sólo resultados como roca generadora. En el caso de roca reservorio, se obtuvo algunos rastros de gas en dos pozos de la cuenca Marañón (Loreto y Shanusi). El

Grupo Pucará corresponde a un modelo sedimentario de rampa homoclinal, cuyo máximo depósito está en la actual zona de la Cordillera Norte y se levanta hacia el sur y este.

Analizando sísmicamente los dos grupos, los sistemas carbonatados tienen un efecto combinado de variaciones de facies deposicionales y alteraciones diagenéticas que juegan un rol importante en las variaciones de velocidades sísmicas y en la impedancia acústica. La interpretación convencional de la sísmica 2D y 3D no es un método ideal predictivo para caracterizar reservorios carbonatados por la complejidad y heterogeneidad de estos sistemas.

## 2. Geología

### 2.1. Paleozoico

#### 2.1.1. Grupo Tarma

La primera gran transgresión carbonatada de alcance regional se inicia en el Carbonífero superior con un depósito basal de areniscas calcáreas, de color verde, de grano medio a fino, bien seleccionadas, gradando hacia la parte superior a limolitas y lodolitas.

Hacia el noreste y este de la Cuenca Ucayali (pozos La Colpa, Shahuinto, Platanal) se depositaron una alternancia de arcillas, areniscas, y lutitas, y algunos niveles de *mudstones* y *wackstones* (3 ciclos). En la zona oeste de las cuencas Ucayali y Madre de Dios se describen niveles de areniscas basales transgresivas, seguidos por depósitos lutáceos, arcillosos, acumulaciones de restos orgánicos, *wackstones* (4 ciclos). Las calizas son de color gris claro, y las areniscas arcillosas marrón claro. Hay presencia de *Neospirifer*. Las lutitas son gris oscuras con delgadas capas de calizas. Algunas calizas son masivas, grises en la base y blancas a gris clara hacia el tope. Hay escasas

intercalaciones de lutitas oscuras en la base. En la parte superior se intercalan con dolomías que fueron probadas al punzado en los pozos San Martín y La Colpa, obteniéndose pocas cantidades de petróleo y gas (hay que

considerar que estas dolomías fisuradas han sido invadidas y selladas con el lodo de perforación y la cementación).

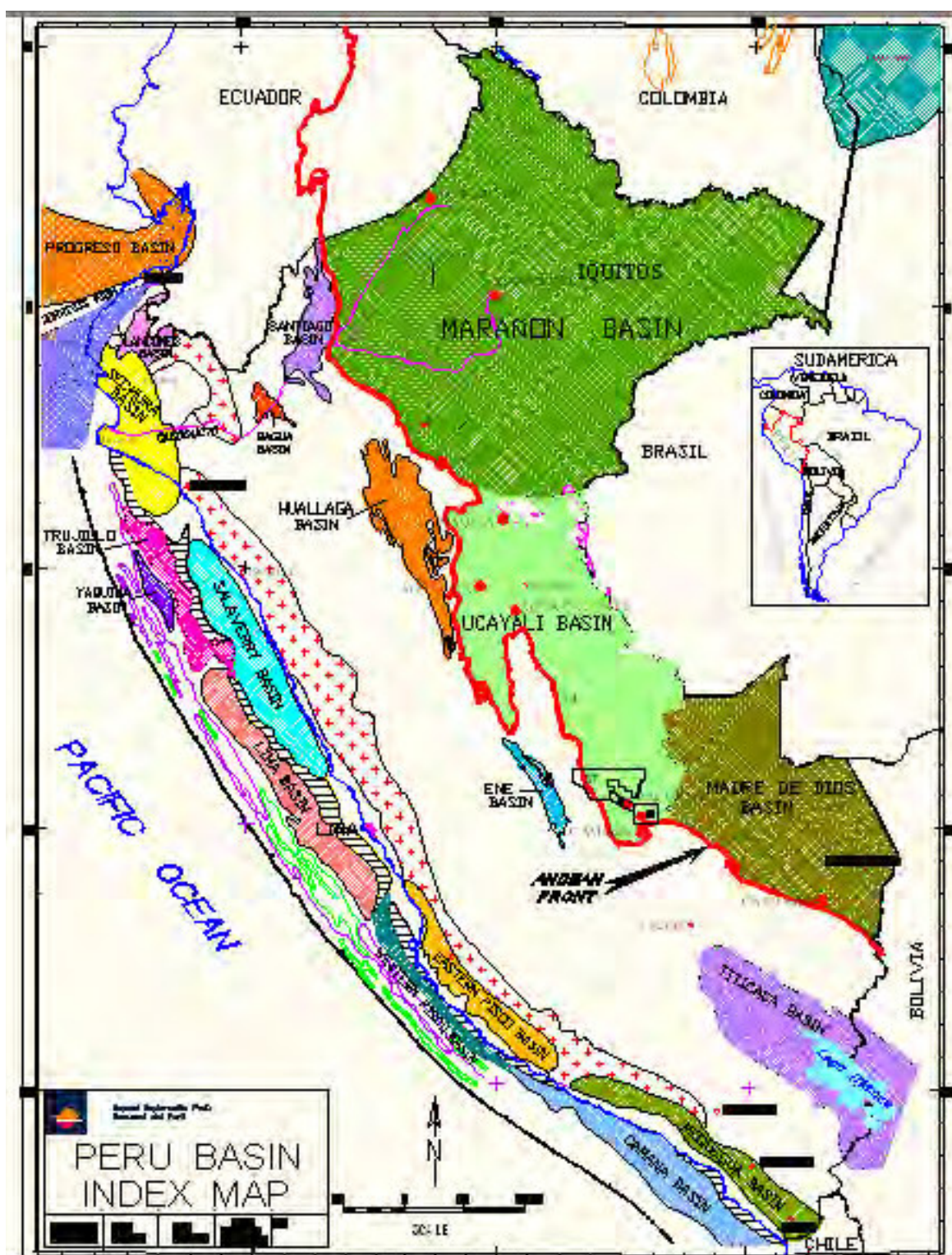


Figura 1. Mapa índice.

### 2.1.2. Grupo Copacabana

El Grupo Copacabana (Pérmico Inferior) tiene niveles carbonatados continuos y con mayores espesores hacia el oeste y sur. Las calizas son de grano grueso, *grainstone* a

*wackstone*, y presentan intercalaciones de dolomías, con coloraciones claras de beige a marrón claro (3 ciclos). Ocurren acumulaciones orgánicas indicativas de zonas de alta energía. El espesor total promedio es de 600 m.



En el este y noreste de la cuenca Ucayali, las dolomías presentan al tope coloraciones rosáceas, e indican zonas someras de una plataforma carbonatada (2 ciclos).

El máximo eje depositacional estaba ubicado en la actual Cordillera Andina (NW-SE), somerizándose hacia el este correspondiente a la actual posición de los bloques 57, 88, y alrededores, con continuas basculaciones muy suaves que permitían la dolomitización en la parte superior de la columna (Fig. 1).

En las hojas de Vilcabamba, Ampay, Abancay,

Andahuaylas, y cerca del Cerro Macchu Picchu, se describieron secciones incompletas de 600 hasta 2100 m (grupos Copacabana y Tarma).

Hacia el sureste, en la cuenca Madre de Dios y cerca al límite con Bolivia, los pozos Pariamanu y Puerto Primo muestran una alternancia de yeso y anhídrita en diferentes niveles, producto de esporádicas somerizaciones, lo cual indica una cercanía con el límite de la cuenca (confirmado con los pozos Pando y Manuripe en Bolivia).

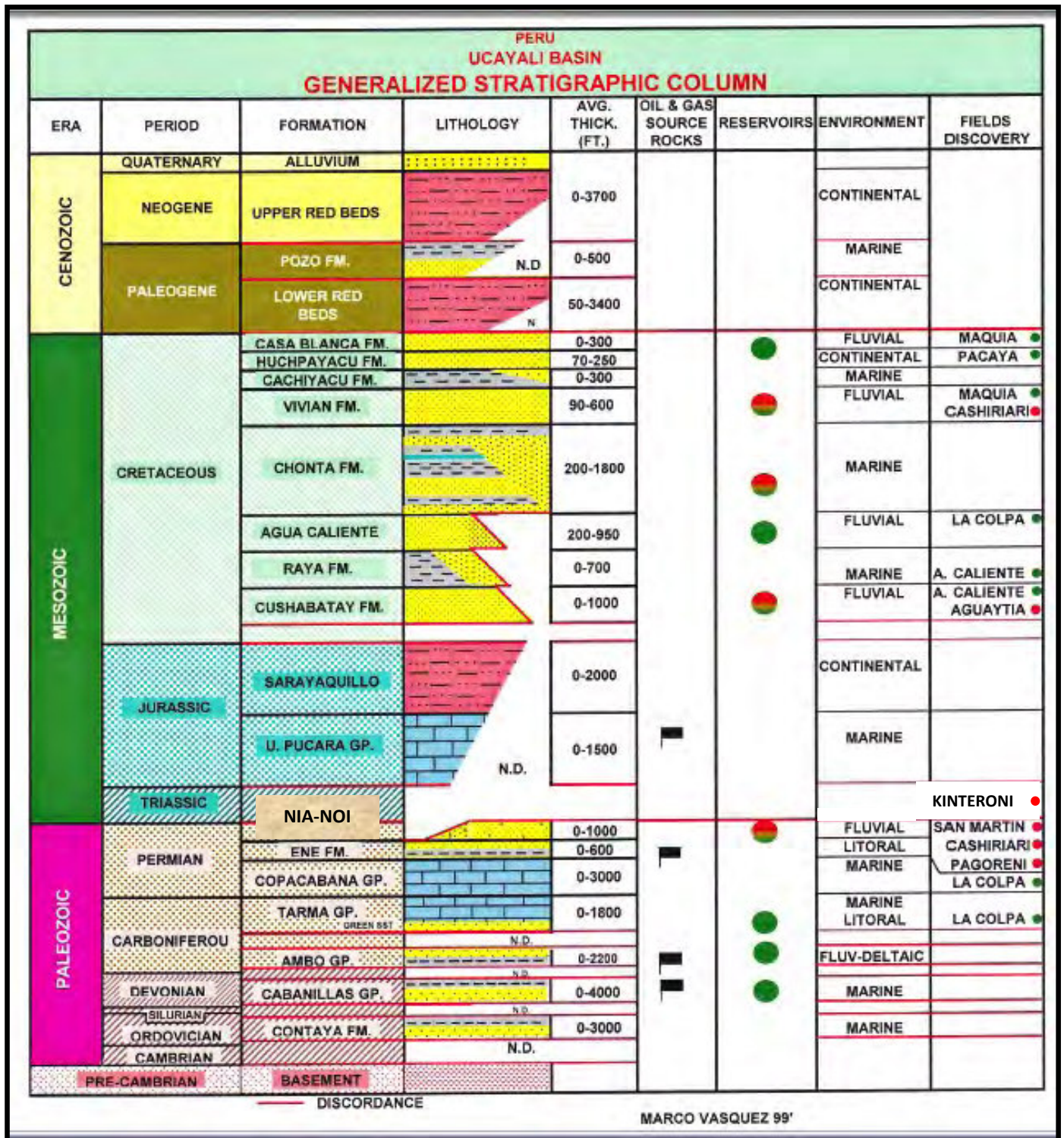


Figura 2. Columna generalizada de la Cuenca Maraón.

### 2.1.3. Marco tectónico

La cuenca estuvo delimitada al noroeste por el Alto de la Costa, al este por el Macizo Brasileño, y al sur el Macizo de Arequipa. En este marco, ingresó el mar carbonatado del Carbonífero Superior – Pérmico Inferior desde el sur hacia el norte, ubicando su eje de máximo depósito con dirección NW-SE en la zona correspondiente a la actual Cordillera de los Andes.

### 2.1.4. Ambiente de depósito

El ambiente de deposición de los grupos Tarma y Copacabana corresponde a una plataforma interna y slope en la zona de la actual cuenca Ucayali–Madre de Dios. Esta conclusión proviene del análisis sedimentológico de las litologías descritas en las secciones de campo y pozos.

## 2.2. Jurásico

### 2.2.1. Grupo Pucará

Esta segunda transgresión marina carbonatada de gran importancia en distribución regional, con un importante espesor, ingresó desde el Ecuador, iniciándose a finales del Triásico y prolongándose hasta el Jurásico Medio. En general la litología está compuesta de calizas, intercaladas con niveles de lutitas y limos. Su máximo eje de depósito está en la zona de la actual Cordillera Andina Norte, donde presenta los 3 niveles descritos ampliamente por diversos autores, reconociéndose a las formaciones Chambará, Aramachay, y Condorsinga (datadas desde el Triásico Superior hasta el Jurásico Medio).

En la zona oriental, que incluye el oeste de las cuencas Maraño y Ucayali, así como las cuencas intra-montañosas Huallaga y Santiago, el Grupo Pucará se ha dividido en 4 niveles que incluyen adicionalmente a las clásicas 3 formaciones. El nivel superior, registrado en secciones de campo y pozos como el depósito final, consiste en *mudstones* con algunos niveles de areniscas con arcillas y anhidrita. La zona de interés en exploración de hidrocarburos del Grupo Pucará está ubicada al este en las cuencas intra-montañosas Santiago y Huallaga, donde se encuentra bien desarrollado en sus cuatro niveles.

Al este de estas cuencas, en el margen occidental de la cuenca Maraño, se perforaron los pozos Loreto, Shanusi, Capahuari Norte, y Carmen, donde se registró el Pucará, pero en sus eventos finales equivalentes a Condorsinga y el nivel #4 depositados durante el Jurásico Medio.

En la cuenca Ucayali igualmente el Pucará está restringido a la zona oeste y norte de la cuenca: se han registrado dolomías micríticas en los pozos Chio, Oxapampa, y varias secciones de campo que muestran calizas micríticas (*mudstones*) e intercalaciones de areniscas y lutitas correspondientes a los últimos niveles del Pucará.

### 2.2.1. Marco tectónico

La cuenca estuvo delimitada al oeste por el Alto de la Costa y el Macizo de Arequipa, al este por el levantamiento paleozoico en la actual llanura amazónica y el Escudo Brasileño, al sur por el levantamiento del Paleozoico inferior y superior. En este marco, ingresó el mar carbonatado del Triásico Superior – Jurásico Medio

desde el Norte y depositó carbonatos según una dirección NW-SE en la zona correspondiente a las partes norte y central de la actual Cordillera de los Andes.

### 2.2.3. Ambiente de depósito

El ambiente de depósito del Grupo Pucará es un ambiente marino de rampa homoclinal.

## 3. Petrofísica

La evaluación petrofísica realizada hasta el momento en las calizas del Jurásico y Paleozoico no es óptima debido a que no hay intervalos representativos que hayan permitido realizar estos análisis con el detalle que permita definir el real valor de las columnas carbonatadas motivo del presente estudio.

Hasta el momento sólo se ha medido la porosidad (de 12 a 15 %). La permeabilidad es menor a un darcy en algunas coronas del Paleozoico que representan el 15 % del espesor total del Copacabana–Tarma, mientras que en las calizas jurásicas sólo se ha calculado un 2 % en función de los pocos metros perforados y que los perfiles han alcanzado a medir. Algunos datos de porosidad obtenidos en los pozos que han atravesado el Copacabana–Tarma están cercanos al 15 % y posiblemente muchos datos estén asociados a fisuras y fracturas, no siendo posible tener buenas mediciones por el daño que se ha ocasionado al perforar estos niveles donde muchas veces se observa ensanchamiento con el caliper debido a malas condiciones del lodo.

En los carbonatos jurásicos se han observado porosidades de hasta 20 % (posiblemente por *vugs* en dolomías), con presencia de *shows* de gas en la cuenca Maraño (no siendo representativos estos resultados ya que no se atravesaron los niveles importantes).

## 4. Geofísica

Para la identificación de ciclos deposicionales en sísmica 3D se necesita aplicar técnicas de procesamiento de datos *stack* y migrados: cuando se combinan, ayudan a identificar eventos significativos. El resultado es un cubo de atributos que pueden ser analizados e interpretados con más objetividad que la interpretación de horizontes interpretados convencionalmente.

Cabe subrayar que la identificación de la clasificación de plataformas carbonatadas en sísmica:

- no es sólo un problema académico o semántico;
- para los programas de exploración y desarrollo, tiene un significado particular que se realice una detallada interpretación sísmica de la arquitectura de facies;
- es relevante para el análisis de alta resolución la evolución espacial/temporal de las plataformas.

Toda interpretación realizada en la sísmica debe ser corroborada con la perforación de pozos para tener la certeza de la interpretación. En las cuencas Maraño, Ucayali y Madre de Dios se han perforado pozos que han atravesado las unidades calcáreas mencionadas, y necesitan ser re-interpretados.



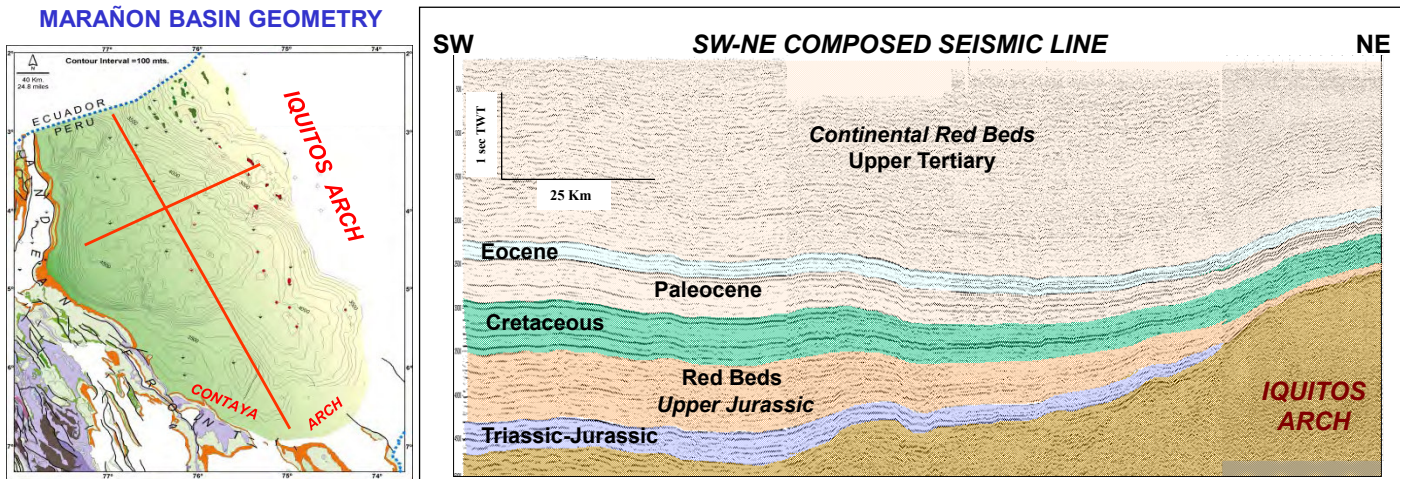


Figura 3. Sección sísmica en la Cuenca Marañón.

## 5. Conclusiones

Los depósitos carbonatados son más variados que los silicoclásticos porque existen mayores diferencias en los factores genéticos.

El ambiente de depósito de los grupos Copacabana y Tarma es marino, con presencia de plataforma interna (*internal platform*), *slope*, *reef?* (Cordillera) y plataforma externa (*open marine*).

El ambiente de depósito del Grupo Pucará es marino, de tipo rampa homoclinal.

En las cuencas Ucayali y Madre de Dios, está delimitada la zona de dolomías (*shelf*) y de acumulación de restos orgánicos (*slope*).

Las rocas reservorios de las calizas del Grupo Copacabana-Tarma son dolomías, *grainstones*, facies oolíticas y/o con restos orgánicos (algas y corales).

Las rocas reservorios de las calizas del Grupo Pucará son dolomías y *grainstones*.

En las cuencas Marañón y Ucayali sólo se ha perforado el nivel más superior del Pucará (nivel #4), que incluye areniscas, yeso, anhidrita, y algunos niveles de dolomías y *mudstones*.

Es necesario re-estudiar muchas de las secciones de campo, en especial aquellas que describen presencia de restos orgánicos (algas, corales, braquiópodos).

## Referencias

Eberli, G.P., Masaferró, J.L., Sarg, J.F.R. (eds.). 2004. Seismic imaging of carbonate reservoirs and systems. AAPG Memoir, v. 81, 376 p.  
 Esteban M., Gerard J. 2012. Field seminar for seismic

interpreters: Carbonate and turbidite sedimentation in the Almería Basins.

Humberto, E. 1991. Estudio paleogeográfico de las cuencas subandinas del Perú.

Humberto, E. 2001. Actualización del estudio paleogeográfico de las cuencas subandinas del Perú.

Kupecz, J.A., Gluyas, J., Bloch, S. (eds.). 1997. Reservoir quality prediction in sandstone and carbonates. AAPG Memoir, v. 69.

Lucía, J.F. 2006. Carbonate reservoir characterization modeling workshop: An integrated approach. Springer, 336 p.

Pomar, L., Morsilli, M. 2007. Applied carbonate geology: Carbonate facies & reservoirs (Mallorca & Menorca, Spain).

Quiñones, J. 1990. Estudio palinoestratigráfico del Paleozoico en el Pongo de Mainique.

Vásquez, M. 1990. Evaluación geológica y de reservorios potenciales por hidrocarburos en el Paleozoico de la región subandina del Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Vásquez, M. 1999. Estudio paleogeográfico del Paleozoico en las cuencas subandinas.

Vásquez, M. 2011. Trabajo preliminar sobre los carbonatos en las cuencas Ucayali y Madre de Dios. VII INGEPEP 2011.

Vásquez, M. 2012. Las dolomías y restos orgánicos del Carbonífero Superior – Pérmico Inferior en las cuencas Ucayali y Madre de Dios. XVI Congreso Peruano de Geología.

Vásquez, M. 2013. Las dolomías y restos orgánicos del Carbonífero superior – Pérmico inferior en las cuencas Ucayali y Madre de Dios. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v. 108, p. 077-080.

Wilson, J.L., Jordan, C. 1983. Middle shelf environment. AAPG Memoir, v. 33, p. 297-343.