

Estratigrafía de Secuencias en rocas carbonáticas Pérmicas en El Pongo de Mainique e Integrada al subsuelo de la Sub Cuenca Camisea, Cusco – Perú

Stratigraphy Sequence of Permian rocks in the Pongo de Mainique and integrated with the under underground Camisea Sub-basin, Cusco – Peru

Eloy Gerardo Pozo Calle

Recibido: 24/02/2017 - Aprobado: Diciembre 2015

RESUMEN

El Pongo de Mainique (*Casa del Oso, en lengua Matsiguenga*) es un accidente geográfico generado por el río Urubamba al cruzar el flanco oriental de la cordillera de los Andes, ocasionando un corte que permite la observación de todas las unidades estratigráficas desde Ordovícico – Silúrico hasta Terciario, destacándose la presencia de las Unidades Pérmicas productoras de gas y condensado del área de Camisea. Lugar paradisiaco y laboratorio natural para la aplicación de la metodología de Estratigrafía de Secuencias con el propósito de entender mejor la Geología con el objetivo de proponer estrategias de exploración y desarrollo de los reservorios de gas de la subcuenca de Camisea.

El presente trabajo es una primera aproximación con diagnósticos basado en las observaciones, descripciones e interpretaciones de los procesos sedimentarios y la estratigrafía de secuencias, planteando secuencias genéticas de tercer orden, de importancia en la estrategia de exploración de hidrocarburos y la planificación del desarrollo de los reservorios. Las secuencias genéticas fueron definidas en base a la descripción de facies sedimentarias, asociaciones facies, interpretación de ambientes y subambientes sedimentarios e identificación de superficies estratigráficas.

Palabras clave: *estratigrafía de secuencias.*

ABSTRACT

The Pongo de Mainique (bear house, in language Matsiguenga) is a landform generated by the Urubamba River across the eastern Andes, causing a cut that allows the observation of all stratigraphic units from Ordovician - Silurian to Tertiary, highlighting the presence of the Permian units producing gas and condensate from the Camisea area. Wonderful place and natural laboratory for the application of sequence stratigraphy methodology in order to better understand the geology in order to propose strategies for exploration and development of gas reservoirs of the subbasin of Camisea.

This paper is a first approach with diagnoses based on observations, descriptions and interpretations of sedimentary processes and sequence stratigraphy, suggesting genetic sequences of third order of importance in the strategy of hydrocarbon exploration and development planning of reservoirs. The genetic sequences were defined based on the description of sedimentary facies, facies associations, interpretation of sedimentary environments and sub-environments and identification of stratigraphic surfaces.

Keyword: stratigraphy sequence.

¹. Alumno Maestría UNMSM. Email: gpozo2010@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación es una primera aproximación con diagnósticos basado en las observaciones, descripciones e interpretaciones de los procesos sedimentarios y la estratigrafía de secuencias, planteando secuencias genéticas de tercer orden, de importancia en la estrategia de exploración de hidrocarburos y la planificación del desarrollo de los reservorios. Las secuencias genéticas fueron definidas en base a la descripción de facies sedimentarias, asociaciones facies, interpretación de ambientes y subambientes sedimentarios e identificación de superficies estratigráficas.

1.1 Ubicación

El Pongo de Mainique se encuentra ubicado en el distrito de Echarate, provincia de la Convención, departamento del Cusco, dentro del Santuario Nacional Megantoni, como se muestra en las Figuras N° 1 y N° 2.

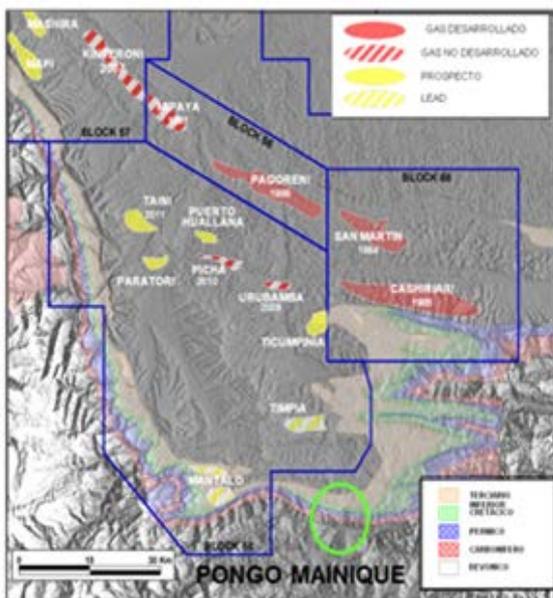


Figura N° 1: Muestra la ubicación del Pongo de Mainique y los yacimientos de gas de Camisea (Pozo G. et al; 2011).

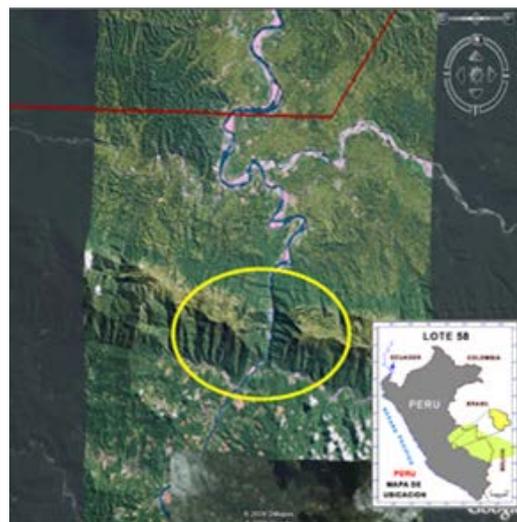


Figura N° 2: Muestra fotografía de Google Earth donde se observa el río Urubamba cortando la cordillera oriental de los Andes y generando el Pongo

1.2 Geología Regional

La zona del Pongo de Mainique está dentro de la faja plegada y fallada del frente andino, en el borde Sur-Oeste de la cuenca de Madre de Dios, donde se pueden observar y estudiar todas las rocas sedimentarias desde el Paleozoico (Ordovícico, Devoniano, Misisipiano, Pensilvaniano y Pérmico), Mesozoico (Cretáceo) y Cenozoico (Terciario), como se muestra en las Figuras N° 3 y N° 4, las cuales son expuestas en posición normal y con buzamientos de capa casi verticales sumando 9270 metros de espesor en todas las unidades sedimentarias. El objetivo del estudio fue aplicar la Estratigrafía de Secuencias en las unidades Pérmicas como una alternativa de organización estratigráfica para un mejor entendimiento de la deposición y genética de la Unidad Copacabana y su aplicación en la exploración por hidrocarburos. (Shell Perú 1996; Pozo G. 2011).

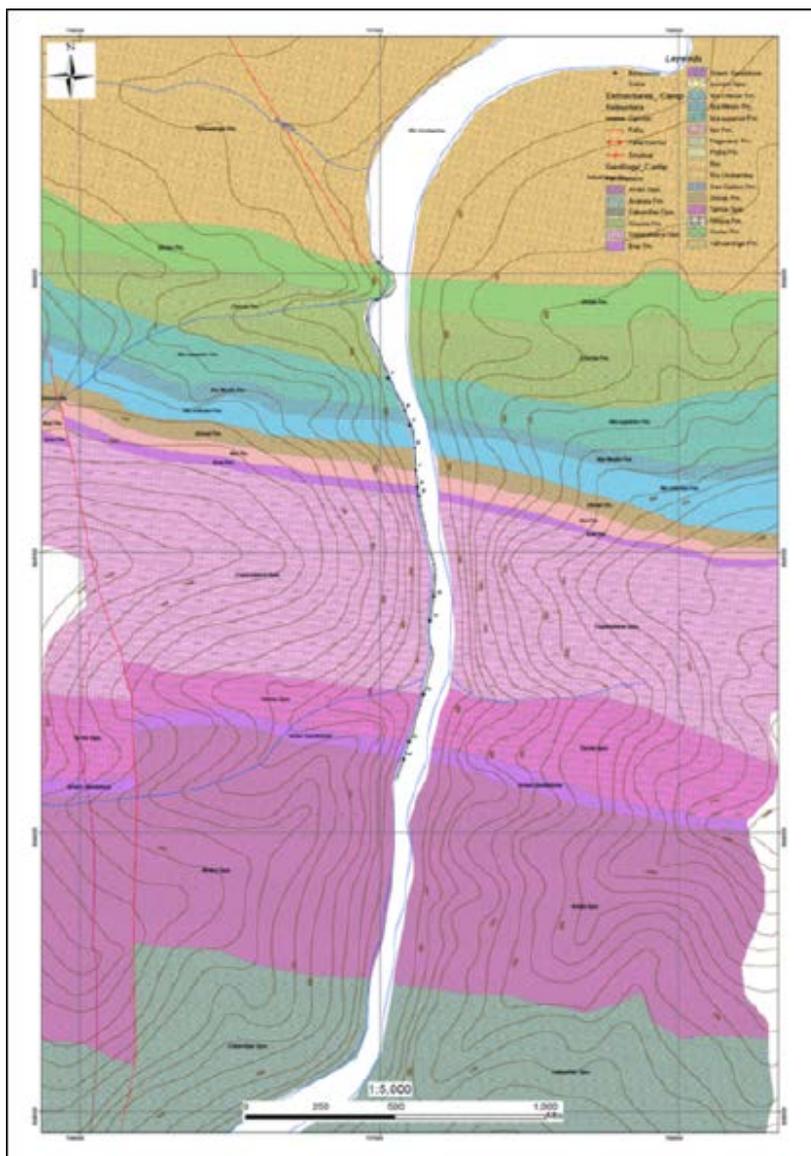


Figura N° 3: Muestra el mapa geológico - estratigráfico del Pongo de Mainique, (Shell Perú; 1996; Pozo G; 2011).

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Para esta investigación se usó la información de los trabajos de geología de campo en el Pongo de Mainique en Julio del 2011, además de los equipos de campo se utilizaron los perfiles eléctricos de pozos (Urubamba, Picha, Taini del Lote 58 operado por Petrobras),

La metodología utilizada es la adaptación de la propuesta por Miall (1985, 1996) para el análisis de afloramientos de sedimentos fluviales ahora aplicada para rocas silicoclásticas y carbonáticas aplicada por Petrobras en sus programas corporativos.

1° etapa: Se realiza la descripción y análisis faciológica de las rocas en el afloramiento y perfiles de pozo del subsuelo de Camisea; Asociación de las facies para definir los elementos arquitecturales presentes.

2° etapa: Se Interpreta detalladamente los elementos arquitecturales y se determinan los sub ambientes y ambientes sedimentarios.

3° etapa: Se Designan las superficies estratigráficas y se jerarquizándolas; se identificar los sistemas encadenados y las secuencias de tercer orden.

4º etapa: Con base en el patrón de apilamiento se proponer el marco de estratigrafía secuencial.
 La Figura 5 muestra la metodología y etapas del análisis de estratigrafía de secuencias aplicado en este trabajo.

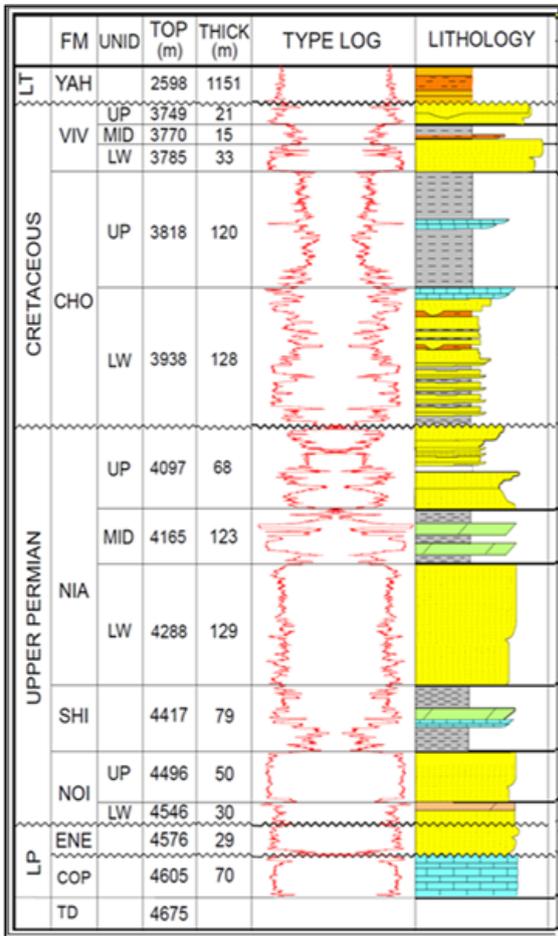


Figura N° 4: Muestra la columna Lito-Electrográfica del área de Camisea de las Unidades productoras. (Pozo G., 2011)

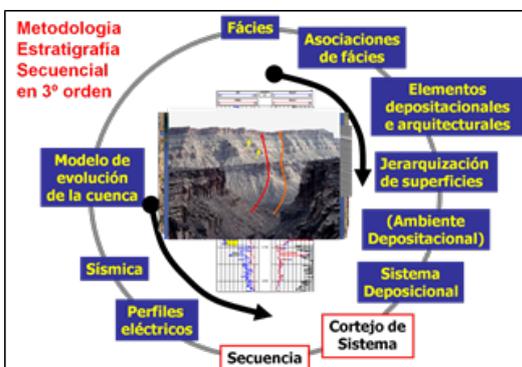


Figura N° 5: Muestra la metodología de estratigrafía de secuencias aplicado en este trabajo (Raja G; 2011)

III. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Las Facies sedimentarias reconocidas en el Pongo de Mainique

Unidad Copacabana litológicamente está compuesta por calizas (80%), lutitas (20%) y areniscas (1%), con un espesor de 600 metros expuesto con buzamiento de capa mayor a los 75° a vertical (Figuras N° 6 al N° 21).



Figura N° 6: **Lutitas Grises (Fg)**, Lutitas fisibles de color gris, gradando a **Mudstone (Mdst)**, potenciales rocas madre y sello



Figura N° 7: **Mudstone (Mdst)**, Calizas densas de color gris, con ausencia de fósiles, matriz soportada, roca sello, pueden tener fracturas rellenas o abiertas



Figura N° 8: **Wackestone (Wckst)**, Calizas de textura matriz soportado con más del 10% de granos (fósiles) menores a 2 mm, se observan estructuras estilolitas. Con porosidad de fractura, potenciales rocas sello. (Dunham, R.J. 1962).



Figura N° 9: Packstone (Pkst), Calizas con textura matriz soportada con mayor presencia de granos. Porosidad visible de tipo interpartícula (por disolución de elementos).



Figura N° 10 y Figura N° 11: Grainstone (Grst), Calizas de textura grano soportado no mayor a 2mm con escasa matriz, buena porosidad visible de tipo móldica – vugular, potencial roca reservorio. (Dunham, R.J. 1962)



Figura N° 12: Laminito, Roca carbonática de granulometría fina (lodosa y/o peloidal) formada por la recurrencia de laminaciones delgadas. Las laminaciones tienden a ser plano – paralelas, con superficie lisa de origen microbial o no, Laminito Liso, o crenulado de origen microbial, (Modificado de Demicco, R.V. 1994).



Figura N° 13: Estromatolitos (Etr) Calizas, formadas por cabezas microbiales conformadas por un armazón rígido de forma dómica y con cavidades internas intercaladas con láminas de grainstones, desarrollan muy buena porosidad visible de tipo brecha y fenestral. Potenciales rocas reservorio. (Modificado de Demicco, R.V. 1994).



Figura N° 14 Bindstone (Bdst), Calizas generadas por organismos que se incrustan paralelos al fondo y conectados. Generan porosidad tipo fenestral o boring.



Figura N° 15: Floatstone (Flst). Calizas de matriz soportada con granos (fósiles) mayores a 2 mm y mayores al 10 % del total de roca. Se puede generar porosidad intrapartícula o móldica (Embry, A.F, et al. 1971).



Figura N° 16: Chert (Ch) sílice amorfa se encuentra dispuesta de manera nodular y paralela a las capas.



Figura N° 17: Chert con inclusiones de Radiolarios ¿? Esta facie se caracteriza por sílice con restos de fósiles silíceos (radiolarios?) los cuales podrían ser el origen de la sílice.



Figura N° 18: Chert, Está misma facie se identificó en el pozo Taini 3X en el tope del Grupo Copacabana (Pozo G. et al. 2011).



Figura N° 21: En la foto gas aflorando del Copacabana encontrado en el margen Este del Pongo de Mainique. Coordenadas: Este 737168, Norte 8646508 (Pozo G. et al. 2011).



Figura N° 19 y Figura N° 20: Dolomías: Facies Diagenéticas de reemplazamiento de carbonato de calcio por carbonato de calcio y magnesio (cristalizado), desarrolla porosidad intercrystalina, potenciales rocas reservorio.

3.2 Asociación de Facies – Modelo Depositional – Copacabana

La asociación de facies y el modelo deposicional de la rampa carbonática de Copacabana se ha tomado de Tucker y Wright, 1990, adaptada para el presente trabajo.

3.3 Estratigrafía de Secuencias

Las secuencias estratigráficas determinadas en la parte superior de los afloramientos de la Unidad Copacabana en el Pongo de Mainique se caracterizan por la asociación de facies lutitas marinas en la base, wackestones, Packstone parte exterior de la rampa, grainstones en la parte media de la rampa, microbiales en la parte interna de la rampa, se considera que estas secuencias son de cuarto orden, se caracterizan por tener patrón de apilamiento progradante como se observa en la Figura N° 23.

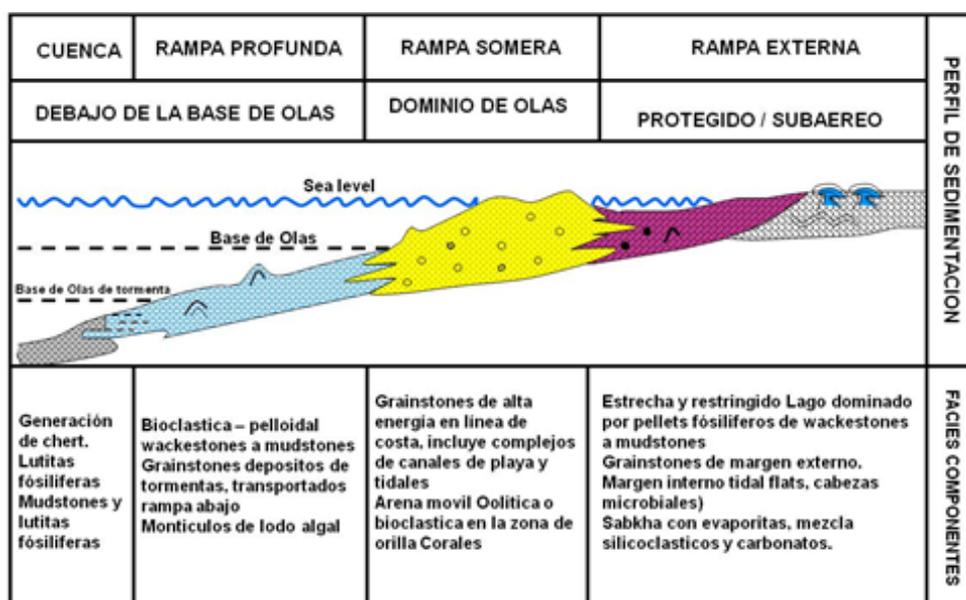


Figura N° 22: Asociación de facies y determinación de ambientes y subambientes deposicionales de la Unidad Copacabana . (Demiccó R.V et al 1994; Petrobras 2010).



Figura N° 23: Fotografía panorámica del afloramiento de la Unidad Copacabana en el Pongo de Mainique donde se observan y se definen las facies sedimentarias y los límites de las secuencias de cuarto orden que se relacionan a unidades de flujo. (Pozo G. et al, 2011; Bento E; 2012).

3.4 Integración de afloramientos al subsuelo de Camisea

El modelo conceptual de estratigrafía de secuencias en cuarto orden del afloramiento del Pongo de Mainique son secuencias sistema encadenado de nivel de mar alto (*highstand system tract - HST*), con patrón de apilamiento progradante, se interpreta que la porosidad incrementa hacia el tope como se observa en la Figura N° 24. La integración de las facies sedimentarias y secuencias estratigráficas definidas en el afloramiento al subsuelo del área de Camisea se realizó con el uso de los perfiles de pozo principalmente el de rayos gama (GR). Como se ha definido en la Figura N° 25.

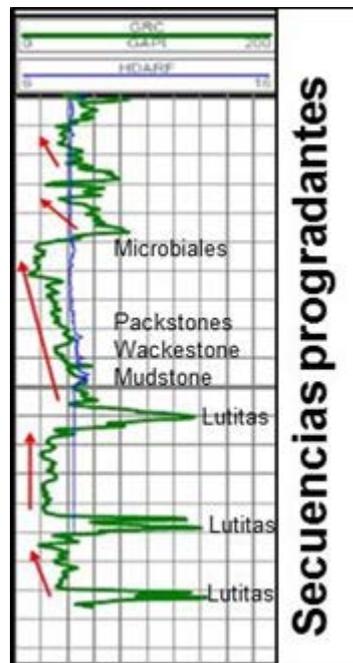


Figura N° 25: Muestra el perfil de rayos gama de un pozo del área de Camisea de la parte superior de la Unidad Copacabana, donde se han determinado las electrofacies que son la integración de la información de los afloramientos y el comportamiento de la curva de rayos gama en la cual se observa el patrón de apilamiento progradante de las secuencias. (Pozo, G. et al ; 2011).

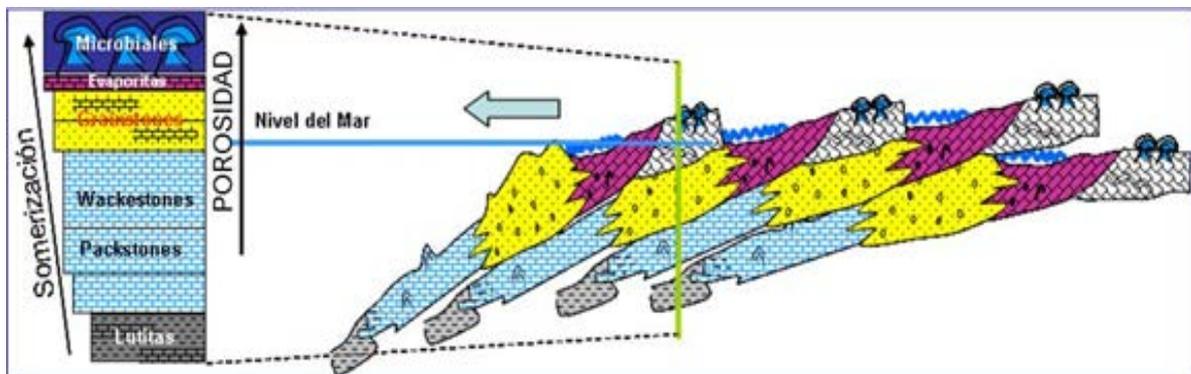


Figura N° 24: Muestra el modelo conceptual esquemático de las secuencias de cuarto orden retrogradantes con patrones de apilamiento progradantes del afloramiento de la Unidad Copacabana en el Pongo de Mainique (Pozo G. et al, 2011; Bento F 2012).

IV. CONCLUSIONES

- 1 La aplicación de la metodología de Estratigrafía de Secuencias en los afloramientos de la Unidad Copacabana ha permitido mejorar el reconocimiento de las facies sedimentarias, su disposición y asociarlas para interpretar los subambientes y ambiente deposicional que para el caso de estudio es una rampa carbonática.
- 2 Las secuencias estratigráficas definidas son de cuarto orden y localizadas en la parte superior del afloramiento, correspondiendo a sistemas encadenados de mar alto (HST) con patrón de apilamiento progradante. Se han definido tres secuencias con espesores variables entre 30 a 50 metros.
- 3 La integración de las secuencias interpretadas y definidas en afloramientos al subsuelo de la subcuenca de Camisea se hizo usando la información de perfiles de pozo aplicando la técnica de determinación de electrofacies, se corroboró que son secuencias progradantes.
- 4 Es importante resaltar que las facies carbonáticas observadas nos van a permitir conocer mejor el reservorio y la distribución de las propiedades petrofísicas, así como conocer el origen de los sedimentos y su potencial como roca reservorio y roca madre.
- 5 La interpretación de las secuencias permitirá mejorar la caracterización de la Unidad Copacabana en secuencias deposicionales que con un estudio regional permitirá mejorar la predictibilidad de ocurrencia en los reservorios Pérmicos en el subsuelo de la subcuenca de Camisea y exploración de hidrocarburos.
- 6 Lo observado en el afloramiento del Pongo de Mainique en el Grupo Copacabana, hace repensar y replantear las estrategias de exploración, caracterización de reservorios y completación de pozos en el futuro cercano.

V. AGRADECIMIENTOS

Nuestro reconocimiento y agradecimiento a la Compañía Petrobras por su apoyo tanto

en el plano técnico como de aplicación en el campo para el desarrollo de este trabajo y muy especial al colega Guilherme Raja Gabaglia por su aporte valioso al desarrollo del estudio.

A mí familia mi esposa Isabel e hijos Gerardo y Lorena por la tolerancia y cariño en todos esos momentos de ausencia por desarrollar trabajos de campo.

A mi alma mater la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por la publicación del presente artículo, a mi asesor y muy paciente y abnegado profesor Magister Hugo Rivera por todo su apoyo, finalmente a todos mis colegas y compañeros del posgrado.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Bento F.E (2012): *Caracterización Estratigráfica en Alta Resolución de las Secuencias Carbonáticas de origen microbial de la Fm. Yacoraite, intervalo Paleocénico, en la región de Salta – Argentina: Un probable modelo predictivo para los reservorios del Pre-Sal Brasileiro.* UFRJ Río de Janeiro – Brasil
- 2 Demicco, R. V.; Hardie, L. A. (1994). *Sedimentary structures and early diagenetic features of shallow marine carbonate deposits.* Tulsa: Society for Sedimentary Geology, Atlas, 1, 265p.
- 3 Dunham, R.J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture – In: Ham, W.E., (Ed.). *Classification of carbonate rocks.* Tulsa: American Association of Petroleum Geologists. Memoir 1. p. 108-122,
- 4 Embry, A. F.; Klovan, J. E. A. (1971). *Late Devonian reef tract on northeastern Banks Islands, Northwest Territories.* Bulletin of Canadian Petroleum Geology, v.19, p. 730-781
- 5 Petrobras, (2010): *Atlas de facies carbonáticas Petrobras.* Informe interno Petrobras.
- 6 Pozo, G. (2011). *Guía de Campo, Salida Geológica al Pongo de Mainique.* Informe interno Petrobras.
- 7 Pozo, G. Castillo, E. (2011). *Descripción sedimentaria y análisis estratigráfico Preliminar, Geología del*

- Pongo de Mainique - Margen Este del río Urubamba, Unidades Copacabana, Ene, Noi, Nia.* Informe interno Petrobras.
- 8 Raja G, G., Rodrigues, E.B., Magalhaes, A.J.C. & Arregui, C.D. (2004). *Seminario de Campo en Cuenca Neuquina: método de análisis tectonoestratigráfico de alta resolución en sistemas deposicionales siliciclásticos del Jurásico Inferior a Medio.* Guía de Campo, 27 p.
 - 9 Raja G, G. (2011). *Estratigrafía de Alta Resolución- Un Puente necesario entre la Sedimentología y la Estratigrafía tradicionales – prácticas y resultados.* XVII Congreso Geológico Argentino – Neuquén, Conferencia Plenaria.
 - 10 Shell Peru, (1996): *Geological Fieldwork Report Ucayali Basin.* Report N° SPDP 96-004. B. V., Lima – Perú.
 - 11 Tucker, M. y Wright (1990). *Carbonate Sedimentology,* Publications Blackwell Scientific London.