

La Procedencia Sedimentaria como herramienta para exploración de hidrocarburos: Caso del Antearco del Sur Peruano

Aldo Alván¹, Hilmar von Eynatten² y Elvis Sánchez¹

¹ Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Dirección de Geología Regional, Lima, Perú (aalvan@ingemmet.gob.pe)

² Geowissenschaftliches Zentrum der Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Sedimentologie und Umweltgeologie, Alemania

1. Introducción del método

Los sedimentos son los registros accesibles más tangibles del desarrollo litosférico en las cuencas sedimentarias, los cuales ocurren en un determinado área y en un determinado tiempo (McCann & Saintot, 2003). En los últimos años se han incrementado el número de estudios que ayudaron a desenmarañar los vínculos entre la

geodinámica y sus respuestas sedimentarias. El estudio de la procedencia de sedimentos inicia con la definición de la geometría estratigráfica y facies sedimentarias, los cuales nos dirigen a estudios puntuales, tales como estudios de litogeoquímica, geoquímica, petrofísica, y geocronología (von Eynatten & Dunkl, 2012), incluyendo estratigrafía secuencial. Los beneficios en términos socio-económicos se reflejan en la determinación de la calidad de

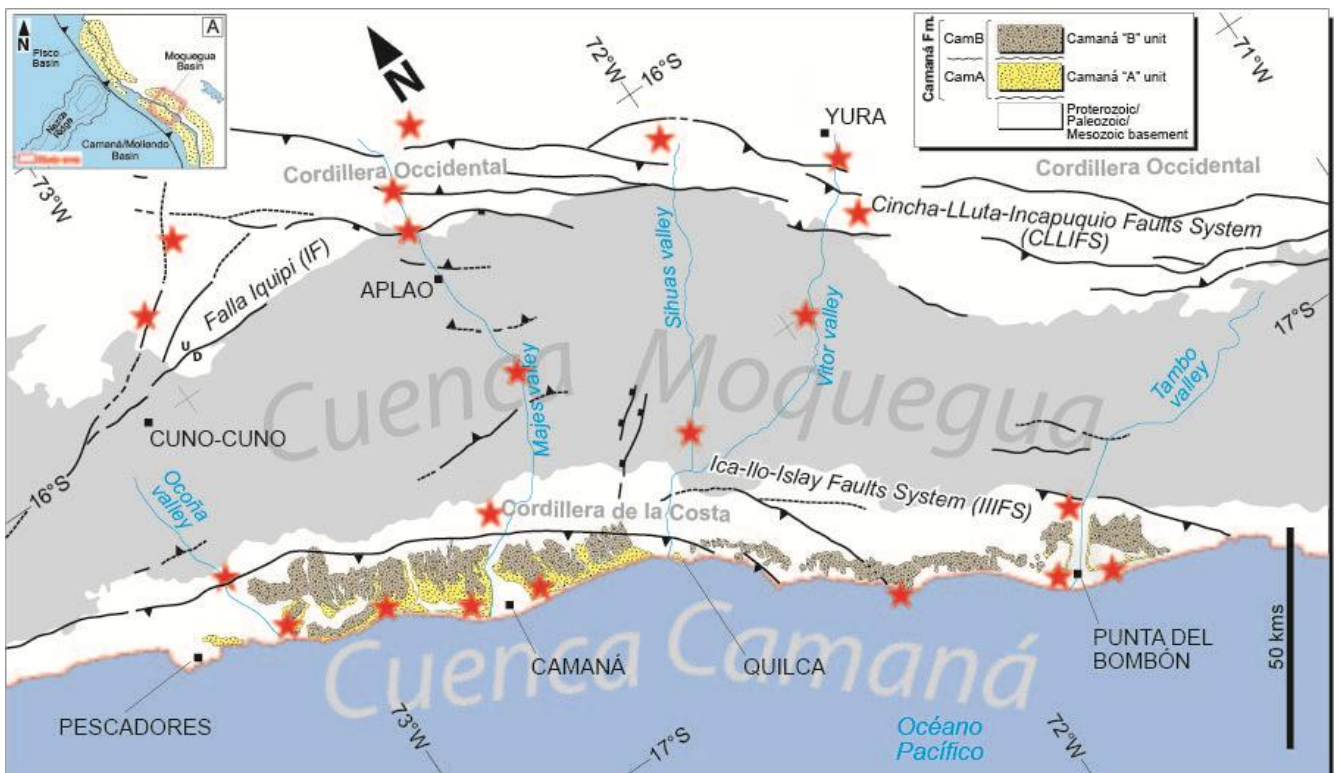


Figura 1. Geología simplificada del antearco del sur de Perú, mostrando los depósitos cenozoicos de la Fm. Camaná. Las estrellas rojas indican la posición de las muestras para estudios de procedencia sedimentaria en la cuenca cenozoica Camaná.

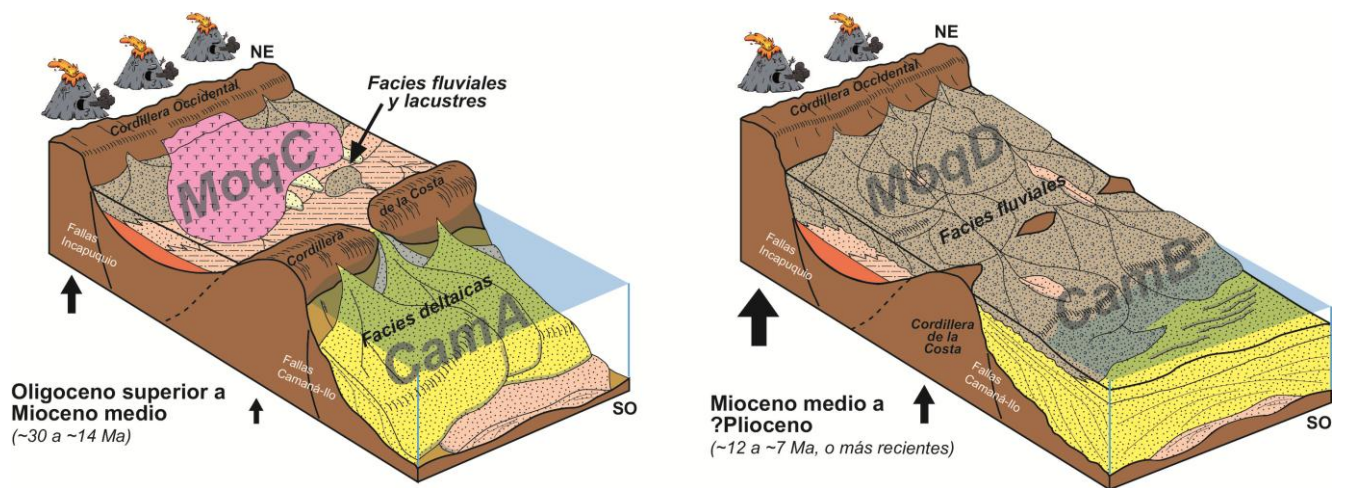


Figura 2. Esquema de la evolución tectónica y sedimentaria del área de Camaná. Izquierda: esquema evolutivo entre el Oligoceno superior a la parte inferior del Mioceno medio. Derecha: Esquema evolutivo entre la parte superior del Mioceno medio al Plioceno.

potenciales reservorios de hidrocarburos y/o recursos hídricos, en la definición de afinidades en correlaciones estratigráficas y en caracterizar y/o predecir los impactos diagenéticos en la mineralogía de los depósitos, los cuales influyen directamente en la calidad del reservorio (cf. Smyth et al., 2014). En este resumen se muestra como ejemplo-caso el análisis de la cuenca sedimentaria Camaná (Cenozoico) del antearco del sur de Perú (Figura 1), en la cual se definió los procesos geodinámicos que dieron origen a los distintos procesos sedimentarios, y se presentó una caracterización analítica de facies sedimentarias con el objetivo de proveer aportes en la calidad de los reservorios y predicciones en la extensión de las facies.

2. Contexto Geológico del ejemplo: Cuenca Camaná

Los depósitos de antearco en el sur de Perú (Figura 2) están compuestos por rocas sedimentarias de origen fluvial y marino de edad Cenozoico (Figura 2). Tales depósitos consisten en el Gpo. Moquegua y la Fm. Camaná (Rivera, 1950; Marocco et al., 1985). La Cordillera de la Costa separa ambas unidades litoestratigráficas. La edad de la Fm. Camaná es Oligoceno a Plioceno (Alván et al., 2015) y el Gpo. Moquegua del Eoceno a Plioceno, según Sempere et al. (2004). El Gpo. Moquegua consiste predominantemente de depósitos de origen lacustre y fluvial, donde grandes discordancias permiten dividir al Gpo. Moquegua en 4 partes (MoqA, MoqB, MoqC y MoqD, Sempere et al., 2004). La Fm. Camaná consiste en depósitos deltaicos y fluviales (Pecho & Morales, 1969) y sus facies sedimentarias permiten su división en dos partes (CamA y CamB). Ambas unidades son comparables en cronología, y aunque están separadas por la Cordillera de la Costa, comparten similitudes en la composición de sus sedimentos (Alván et al., 2015).

3. Historia de la sedimentación del antearco en el Cenozoico

Basados en estudios de procedencia sedimentaria (incluyendo análisis de minerales pesados, geoquímica de minerales individuales, geocronología U-Pb y petrografía de láminas delgadas), Alván et al. (2015) definieron que la

Fm. Camaná consiste en deltas de grano grueso y se formaron debido al levantamiento drástico de la Cordillera de la Costa en el Oligoceno.

Sus depósitos son potentes (>500 m) y se focalizan en los grandes valles (e.g. Camaná, Punta del Bombón). Según estos autores, se tiene evidencias de sedimentos que provienen de la Cordillera Occidental (e.g. piroxenos, granates, anfíboles) en la Fm. Camaná, y sugieren que existieron drenajes de agua y sedimentos desde la cuenca Moquegua hacia el espacio de acomodación de la cuenca Camaná a través de la Cordillera de la Costa.

De acuerdo a los análisis de facies presentados por Alván & von Eynatten (2014), la sedimentación de la Fm. Camaná fue muy diferente a la del Gpo. Moquegua (Figura 2). La parte inferior de la Fm. Camaná se depositó en ambientes marinos mientras que el Gpo. Moquegua en ambientes lacustres y fluviales, con algunas invasiones marinas (~25 Ma, Marocco et al., 1985). En contraste, la parte superior de la Fm. Camaná consiste en depósitos netamente fluviales y son correlacionables con la parte superior del Gpo. Moquegua (o Fm. Millo, Sánchez et al., 2000). La procedencia de los sedimentos de ambas unidades sugiere que derivan predominantemente de las rocas que conforman la Cordillera Occidental.

4. Implicancias en la geodinámica y en la exploración de reservorios

Según Alván et al. (2015), en el Oligoceno el levantamiento de la Cordillera de la Costa fue drástico (Figura 2, izquierda, CamA), y su erosión/denudación fue rápida, depositándose grandes volúmenes de sedimentos en el offshore de Camaná (Alván & von Eynatten, 2014). Por ejemplo, se observa en el registro sísmico (Figura 3) abundantes fallas normales las cuales son atribuibles a una subsidencia que provocó la exhumación de esta cordillera, y consecuente creación de espacio de acomodación. Posteriormente en el Plioceno, la depositación fluvial del Gpo. Moquegua, el cual es simultánea con la Fm. Camaná (Figura 2, izquierda, CamB), se debió principalmente a un fuerte levantamiento de la Cordillera Occidental (Decou et al., 2013).

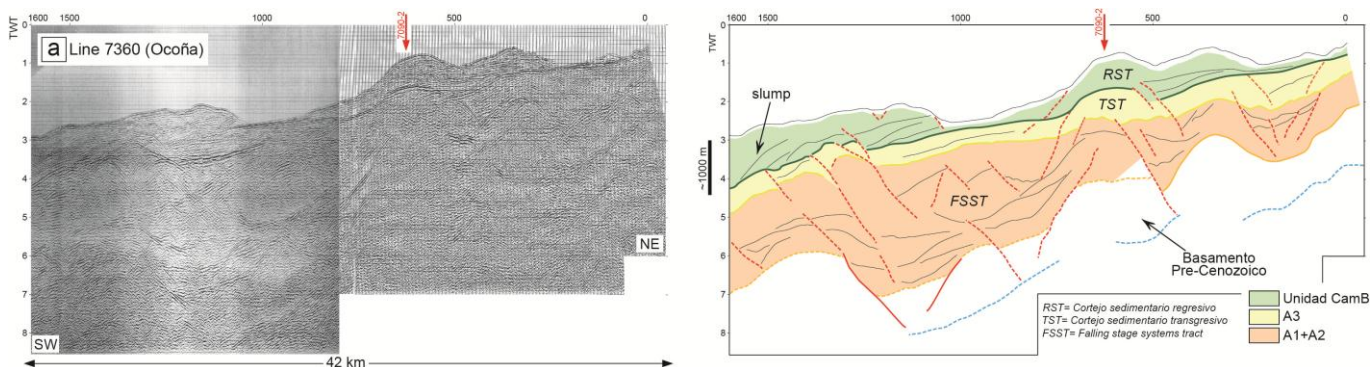


Figura 3. Información sísmica. Izquierda: línea sísmica 7360 de la costa afuera de Ocoña. Derecha: interpretación de la línea sísmica 7360 (offshore de Ocoña). Nótese la abundancia de fallas normales en las sub-unidades A1 y A2, y su geometría progradacional.

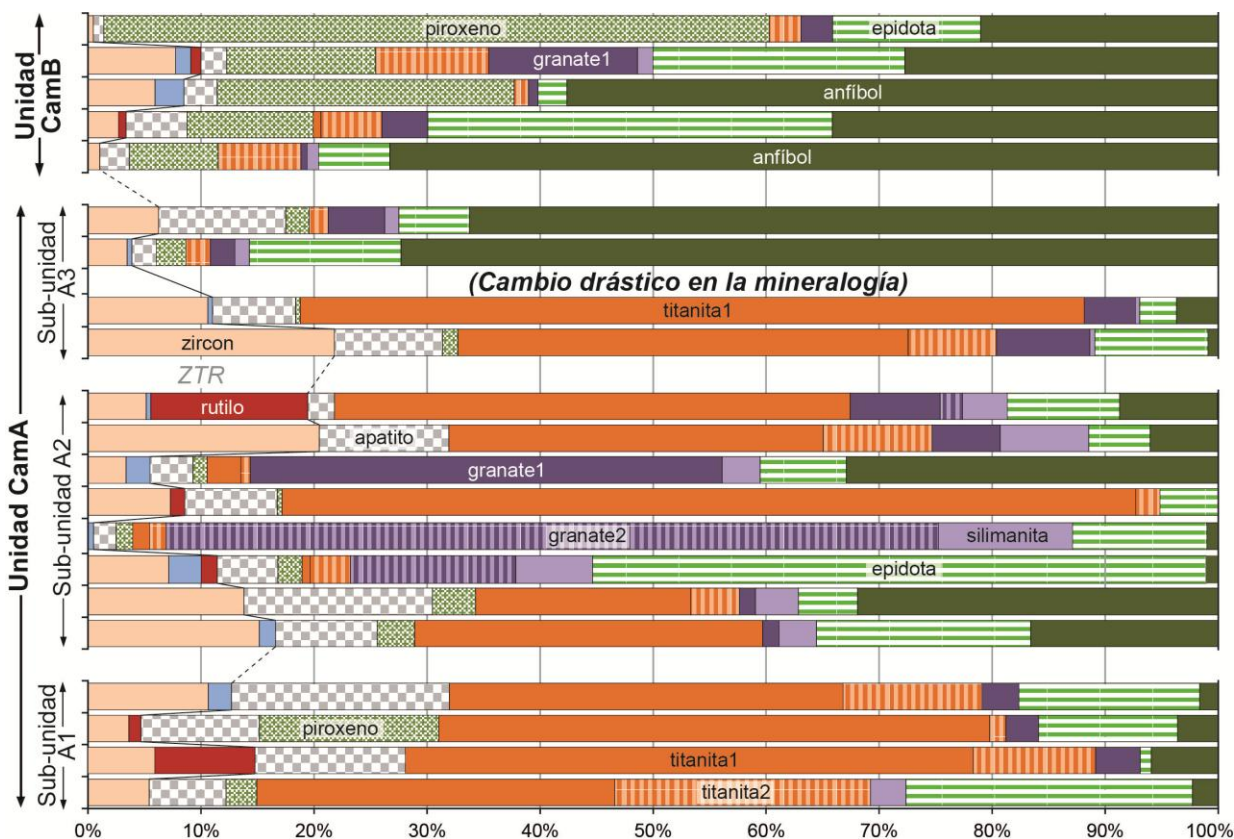


Figura 4. Espectros de minerales pesados de la Fm. Camaná. Los granos minerales fueron contados entre 200 y 250 por slide. Los espectros están organizados de acuerdo a la subdivisión estratigráfica presentada por Alván & von Eynatten (2014). Nótese que los cambios en la mineralogía marcados en la mineralogía son marcados y son parcialmente consistentes con los límites estratigráficos.

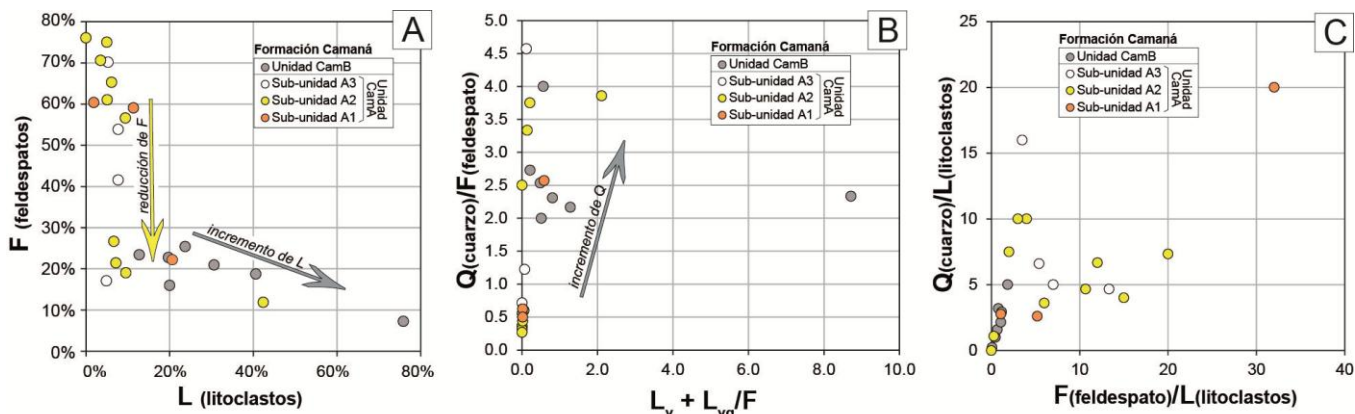


Figura 5. Valores obtenidos del conteo modal (QFL) de las areniscas de la Fm. Camaná. Las flechas señalan incremento de minerales conforme a como se sube estratigráficamente.

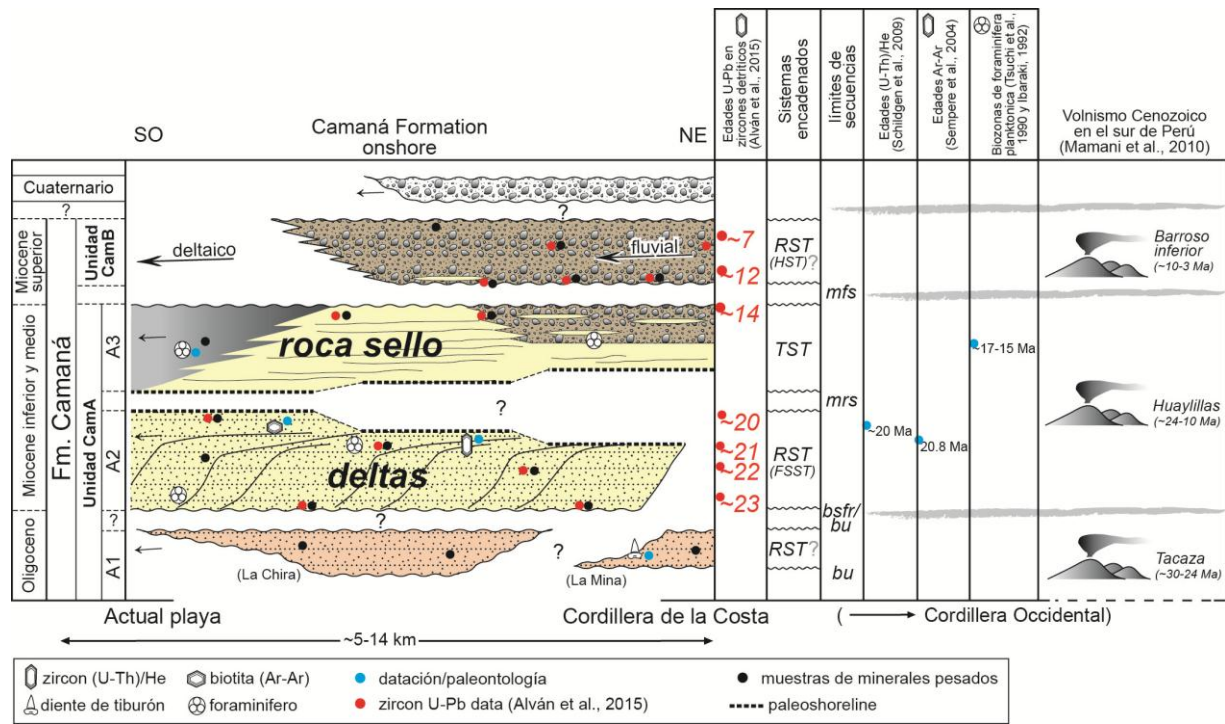


Figura 6. Integración de valores obtenidos de los métodos analíticos tales como análisis de minerales pesados, dataciones (U-Th)/He y U-Pb en zircones, geoquímica de minerales individuales y adicionalmente estratigrafía secuencial. Estos valores han sido combinados con análisis de facies sedimentarias y representados mediante un diagrama tipo Wheeler. Las dataciones son consistentes con la actividad volcánica, por lo tanto, sirven para edades de sedimentación. Los límites de secuencias sirvieron para ser correlacionados con los límites observados en las líneas sísmicas.

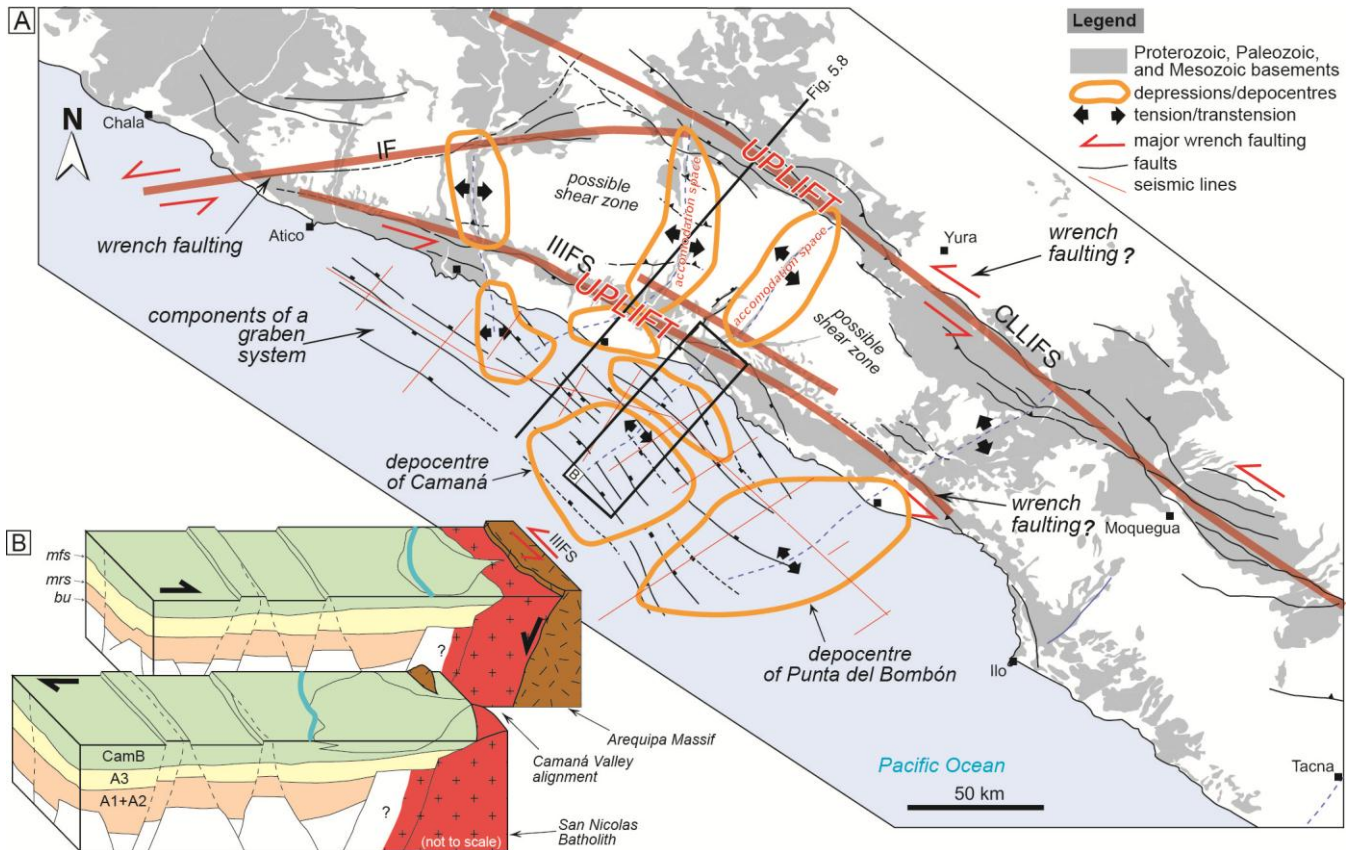


Figura 7. Depocentros de la Fm. Camaná y bosquejo estructural del antearco del sur Peruano, en base al análisis de procedencia de sedimentos e integración con información sísmica del offshore.

Conociendo las edades de la sedimentación de la Fm. Camaná (U-Pb en zircones volcánicos, Alván et al., 2015, y dataciones U-Th/He en zircones, Schildgen et al., 2009) y del Gpo. Moquegua (Sempere et al., 2004; Decou et al.,

2013), y además que los cortejos sedimentarios de la Fm. Camaná reflejan un marcado *Regressive Systems Tract* (RST), se descarta influencia eustática durante la evolución de estas cuencas sedimentarias en el Cenozoico.

Por lo tanto, se entiende que la ampliamente conocida "invasión marina" de Marocco et al. (1985) de ~25 Ma (Noble et al., 1974) es debida a procesos de apertura de cuenca relacionados a la tectónica andina. La depositación de los depocentros de la Fm. Camaná es voluminosa, y se extiende al offshore (polígonos naranja en Figura 7) y los cuerpos sedimentarios son detectables mediante discriminación de facies usando los registros sísmicos (Figura 3).

Las sub-unidades A1 y A2 (polígono naranja en Figura 7) corresponden a la parte más basal de la Fm. Camaná, y están compuestas por sedimentos derivados de la Cordillera de Costa y parcialmente de la Cordillera Occidental (i.e. titanitas, anfíboles). Adicionalmente, la abundancia de feldespatos presente en el Batolito de San Nicolás (~450 Ma) se ve ampliamente reducida en las areniscas que afloran en Camaná (Figura 4), y se espera que sean aún más reducidos en el offshore, lo cual convierte estos depósitos en un buen atractivo como potencial reservorio.

5. Conclusiones

Los estudios de procedencia sedimentaria pueden servir como complemento de trabajos geológicos y apoyan/redireccionan con argumentos verificables las afirmaciones que se contemplan en términos de exploración. Los estudios de procedencia sedimentaria ayudan a delinear los cuerpos sedimentarios que son considerados potencial reservorio de hidrocarburos. Los análisis mineralógicos no solo ayudan a establecer correlaciones estratigráficas en distintos sectores de la cuenca sedimentaria, sino a predecir la calidad de los reservorios en función al contenido mineral del depósito.

Los estudios de procedencia sedimentaria son más consistentes cuando se integra varios métodos analíticos (Figura 6), por ejemplo, análisis de minerales pesados, análisis modal de secciones delgadas de areniscas, litogeoquímica, geoquímica de minerales individuales, dataciones U-Pb en cenizas volcánicas o (U-Th)/He. La integración de estos métodos con procedimientos propios de la geología regional (i.e. cartografiado geológico, análisis de facies sedimentarias, microtectónica) asegura el éxito de la definición tectono-sedimentaria de una cuenca dada y de las extensiones de sus facies.

Agradecimientos

Los autores agradecen al DAAD (Deutscher Akademischer Austauschdienst, Referat 216/PKZ A09/98944), al INGEMMET (Dirección de Geología Regional), y al FONDECYT (Convenio FONDECYT-INGEMMET No. 216-2015).

Referencias

Alván, A., von Eynatten, H., 2014. Sedimentary facies and stratigraphic architecture in coarse-grained deltas: Anatomy of the Cenozoic Camaná Formation, southern

- Peru (16°25'S to 17°15'S). *Journal of South American Earth Sciences*, v. 54, pp. 82-108.
- Alván, A., von Eynatten, H., Dunkl, I., Gerdes, A., 2015. Zircon U-Pb geochronology and heavy mineral composition of the Camaná Formation, southern Peru: Constraints on sediment provenance and uplift of the Coastal and Western Cordilleras. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 61, pp. 14-32.
- Decou, A., von Eynatten, H., Dunkl, I., Wörner, G., 2013. Late Eocene to Early Miocene Andean uplift inferred from detrital zircon fission track and U-Pb dating of Cenozoic forearc sediments (15-18°S). *Journal of South American Earth Sciences*, v. 45, pp. 6-23.
- Marocco, R., Delfaud, J., Lavenu, A., 1985. Ambiente deposicional de una cuenca continental intramontañosa andina: el Grupo Moquegua (sur de Perú) primeros resultados. *Sociedad Geológica del Perú*, v. 75, pp. 73-90.
- McCann, T., Saintot, A., 2003. Tracing tectonic deformation using the sedimentary record: an overview. *Geological Society London Special Publications*, v. 208, pp. 1-28.
- Noble, D. C., McKee, E., Farrar, E., Petersen, U., 1974. Episodic Cenozoic volcanism and tectonism in the Andes of Peru. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 21, pp. 213-220.
- Pecho, V., Serrano, L., 1969. Geología de los Cuadrángulos de Camaná y La Yesera. Serie A: Carta Geológica Nacional. Lima, Perú, Dirección de Geología Regional, INGEMMET. Boletín No. 21, 72 pp.
- Rivera, R., 1950. Geología del Valle de Camaná y Majes. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional San Agustín, Perú.
- Sánchez, A., Rosell, W., Raymundo, T., 2000. Memoria explicativa de la revisión geológica en los cuadrángulos de Punta del Bombón (35s), La Clesesí (35t), Ilo (36t), Locumba (36u), La Yarada (37u), Tacna (37v), Huaylillas (37x), Juli (33y), Pizacoma (34y) e Isla Anápiá (33z). Franja 1. Memoria Descriptiva. INGEMMET, Dirección de Geología Regional, 40 pp.
- Sempere, T., Fornari, M., Acosta, J., Flores, A., Jacay, J., Pena, D., Roperch, P., Taipe, E., 2004. Estratigrafía, geocronología y paleotectónica de los depósitos de antearco del sur del Perú. XII Congreso Peruano de Geología, Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica del Perú, pp. 533-536.
- Schildgen, T., Hodges, K., Whipple, K., Pringle, M., van Soest, M., Cornell, K., 2009. Late Cenozoic structural and tectonic development of the western margin of the central Andean Plateau in southwest Peru. *Tectonics*, v. 28 21 p.
- Smyth, H., Morton, A., Richardson, N., Scott, R., 2014. Sediment provenance in hydrocarbon exploration and production: an introduction. *Geological Society London 386, (Hydrocarbon Exploration and Production)*, 6 pp.
- von Eynatten, H., Dunkl, I., 2012. Assessing the Sediment Factory: The Role of Single Grain Analysis. *Earth-Science Reviews*, v. 115, pp. 97-120.