



FIG. 14. Historias depositacionales y proveniencia sedimentaria del sur del Perú y norte de Chile desde el Oligoceno al Plioceno, según la información disponible en Wörner *et al.* (2000) y Wotzlav *et al.* (2011) para el valle de Azapa (norte de Chile), y los modelos de Decou *et al.* (2013) y Alvan *et al.* (2015, 2017b) (para el valle de Moquegua) y Alvan *et al.* (2015, 2017b) (para el valle de Majes-Camana), en los cuadros rojos. El recuadro “Este estudio” hace menció a la figura 11.

volcanismo es atribuible a un marcado incremento en el ángulo de subducción de la placa oceánica, acompañado también por un importante acortamiento cortical, lo cual es consistente con la abundante acumulación de conglomerados que se intercalan con los productos volcánicos preferentemente en la parte distal de la cuenca Moquegua. Por último, la Formación Millo guarda en su parte inferior detritos provenientes de la denudación de la Formación Huaylillas, como también lo consideran Decou *et al.* (2013) y Alván *et al.* (2015), lo que permite interpretar que los procesos sedimentarios que originaron las rocas de la Formación Millo están más vinculados a los procesos de deformación y denudación que a las etapas de depositación volcánica; es decir, la parte inferior de la Formación Millo carga los productos de la denudación de las últimas etapas de actividad del volcanismo Huaylillas (Mioceno) y/o del inicio del volcanismo Barroso (Plioceno), y finalmente, se completa con la denudación de las rocas volcánicas de la Formación Barroso.

6.3. Elementos de correlación entre las unidades cenozoicas aflorantes y del subsuelo de Tacna

Los resultados del presente estudio permiten afirmar que las rocas cenozoicas aflorantes en el área de Tacna (*e.g.*, cerros Yarahuay, Magollo, Precipicio, Acirume, Churcos, Chuschuco, Hospicio, Espíritus, Gallinazos, entre otros, Figs. 4, 5 y 6) son correlacionables con las que yacen en el subsuelo del área de Tacna y La Yarada, y se disponen como se sugiere en las figuras 4, 5 y 6. Esta afirmación se basa en los resultados del estudio del contenido de minerales pesados en cada unidad litológica. Sin embargo, estas señales en la composición mineral se pueden ver mejor si suprimimos visualmente los anfíboles y otros minerales que aparecen en casi todas las muestras, como se aprecia en la figura 13. Según esta figura, los sedimentos de la Formación Moquegua Superior se caracterizan por su alto contenido de titanitas (incolores) y granates en comparación con lo observado en los espectros minerales de las sobreyacentes formaciones Huaylillas y Millo. Además, el índice GZ (granate-circón, Morton y Hallsworth, 1999) de la Formación Moquegua Superior (figura 13) también es alto, y permite distinguir esta unidad en relación a las otras que la sobreyacen, tanto en las muestras de afloramientos como en las de los testigos.

Las rocas de las formaciones Huaylillas y Millo se caracterizan por contener una cantidad excepcional de ortopiroxenos, lo cual contrasta con la ausencia de este mineral en las rocas sedimentarias de la Formación Moquegua Superior. Este arreglo mineral se cumple en todas las muestras de las columnas estratigráficas elaboradas en los afloramientos y de los testigos de perforación del área de Tacna y La Yarada (Figs. 8 y 9), y cumple también con las expectativas como “espectros de minerales guías” para establecer correlaciones estratigráficas entre los estratos cenozoicos de Tacna. En consecuencia, las correlaciones estratigráficas presentadas en las figuras 4, 5 y 6 están respaldadas por los espectros minerales y permiten proponer que el subsuelo de Tacna y La Yarada está conformado por rocas correspondientes a las formaciones Huaylillas y Moquegua Superior. Esta conclusión permite, además, postular la existencia de fallas normales de alto ángulo que producen un desplazamiento vertical (de al menos 200 m) entre las secuencias estratigráficas aflorantes y aquellas presentes en el subsuelo de las planicies de La Yarada y Los Palos. Esto es consistente con lo expuesto en las secciones sísmicas interpretadas por Martínez *et al.* (1996) en el subsuelo de La Yarada, en las cuales reconocen la existencia de fallas con comportamiento estructural normal, con alto ángulo (líneas punteadas en las Figs. 4, 5 y 6) y hasta con cierto basculamiento, los cuales tienen influencia en la actual morfología (lomas elevadas y planicies extensas). Concordante con esta interpretación, las rocas sedimentarias que yacen en el subsuelo del área de Tacna y sus posibles contrapartes en *offshore* tienen edad cenozoica (Alván *et al.*, 2017a), y no cuaternaria como se propone en PET (2007).

7. Conclusiones

Las facies sedimentarias reconocidas en las rocas cenozoicas del área de Tacna y su distribución areal, junto con la identificación de las fuentes de aportes de los sedimentos y la edad depositacional de los mismos permiten concluir lo siguiente:

- La definición de la arquitectura depositacional cenozoica en conjunto con los espectros de minerales pesados y la edad de depositación de las secuencias de rocas sedimentarias han permitido generar un modelo cronoestratigráfico para las rocas cenozoicas del área de Tacna, donde la edad mínima de depositación de la Formación Moquegua Superior alcanza los *ca.* 23 Ma.

- Las asociaciones de minerales pesados de las rocas sedimentarias del Cenozoico en el área de Tacna (cuenca Moquegua) indican que la principal fuente de aporte de sedimentos durante el relleno de la cuenca se localizaba hacia el este de la misma, en la actual cordillera Occidental y el altiplano.
- El analisis de la proveniencia sedimentaria (resumido en la Fig. 11) resuelve que los sedimentos que dieron origen a las rocas sedimentarias de la Formaci3n Moquegua Superior (Oligoceno) en Tacna fueron aportados por la erosi3n de las rocas del Complejo Basal de la Costa (Proterozoico), la Unidad intrusiva Challaviento (Pale3geno), el Grupo Ambo (Carbon3fero) y la Formaci3n Junerata/Chocolate (Jurásico Inferior). En tanto, las rocas de la Formaci3n Huaylillas (Mioceno) se vinculan en su origen con la actividad del arco volcánico del Mioceno (Arco Volcánico Huaylillas) y la denudaci3n de las rocas volcánicas del Grupo Toquepala. Los sedimentos que dieron origen a las rocas de la Formaci3n Millo (Plioceno) fueron aportados por la erosi3n de las rocas que constituyen el Grupo Barroso (Mioceno Superior-Plioceno), ubicado en el altiplano, y parcialmente de la Formaci3n Huaylillas.
- En Tacna, las facies sedimentarias identificadas en las rocas de la Formaci3n Moquegua Superior (Oligoceno) son compatibles con dep3sitos fluviales originados por la actividad de un sistema de r3os trenzados. En esta formaci3n tienen predominancia los elementos arquitecturales *CH* y *SB* (y/o *DA*) en su parte proximal, mientras en su parte distal abundan los elementos *DA* (y/o *SB*) y *FF*. La Formaci3n Huaylillas (Mioceno) se caracteriza en su zona proximal por la predominancia de dep3sitos piroclásticos (elemento *PY*) y por la esporádica aparici3n de los elementos *CH* y *SB* (y/o *DA*) preferentemente en la parte media de la cuenca. En tanto en su parte más distal priman los elementos *DA* (y/o *SB*) y *FF*. La Formaci3n Millo consiste en dep3sitos conglomerádicos canalizados (elemento *CH*) que estuvieron ampliamente afectados por fallas sinsedimentarias. Tales dep3sitos estuvieron restringidos a lo largo de los valles, lineamientos o fallas más grandes, *i.e.*, Falla Caplina, y en algunas partes del subsuelo (Pozo TDRY-02, Fig. 6B).
- Las abundancias relativas de granate, titanita y circ3n (subredondeado) caracterizan a los sedimentos de la Formaci3n Moquegua Superior,

tanto en los afloramientos como en los testigos de perforaci3n; mientras que la abundancia de ortopiroxenos a las formaciones Huaylillas y Millo en las mismas condiciones (Fig. 13). La Formaci3n Millo se diferencia de la Formaci3n Huaylillas por sus litofacies (conglomerados con clastos de andesitas y riolitas) y por su escasez de piroclastos en comparaci3n con la alta concentraci3n de los mismos observados en las rocas de la Formaci3n Huaylillas. En ese contexto, las rocas cenozoicas que afloran en los alrededores de Tacna (*e.g.*, cerros Acirume, Chuschuco, Los C3ndores, Magollo, Churcos, entre otros) se pueden correlacionar con las que yacen en el subsuelo.

- La integraci3n del analisis de minerales pesados y las correlaciones estratigráficas entre las diferentes unidades permite interpretar la ocurrencia de desplazamientos verticales de alto ángulo (de al menos 200 m) que suceden bajo el suelo de Tacna y La Yarada (l3neas punteadas negras en las Figs. 4, 5 y 6). Se interpreta tambi3n que la presencia de tales desplazamientos verticales tiene una fuerte influencia en la distribuci3n de las facies sedimentarias definidas en este estudio y en la actual morfolog3a.
- En las figuras 11 y 14 se plantea una relaci3n muy notoria entre los sedimentos del sur del Perú (provincias de Moquegua y Arequipa) y los del norte de Chile en cuanto a proveniencia y pulsos de levantamientos sistemáticos de los bordes de cuenca y altos geomorfol3gicos (*e.g.*, cordillera Occidental).

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Geol3gico Minero y Metalúrgico (INGEMMET, Perú) y al FONDECYT (CIENCIACTIVA, Perú) por financiar las investigaciones presentadas en el presente manuscrito a trav3s del Convenio N 216-2015 (POI GR41A 2015-2016). Tamb3n a J. Jacay (UNMSM), H. Acosta (Lima) y R. Rodr3guez (Lima) por compartir fruct3feras discusiones que ayudaron al desarrollo del estudio y al Proyecto Especial Tacna (PET, Gobierno Regional de Tacna) por proveer muestras procedentes de los pozos de perforaci3n ubicados en Tacna y La Yarada. Espacial valoraci3n al apoyo entregado por . Salas (UNDAC) en los trabajos de campo, y a la contribuci3n de M. Bustamante, D. Barzola, M. Mogrovejo y E. Loaiza (INGEMMET) en la gesti3n y en la separaci3n de minerales pesados en los laboratorios del INGEMMET.

Los autores están especialmente agradecidos con W. Vivallo (Santiago de Chile), A. Encinas (Universidad de Concepción, Chile) y C. Gómez (Santiago de Chile) por sus acertadas observaciones.

Referencias

- Acosta, J. 2004. Facies y ambientes sedimentarios de la Formación Moquegua Superior en los alrededores de la ciudad de Tacna. Nuevas contribuciones del IRD y sus contrapartes al conocimiento geológico del sur del Perú. *Sociedad Geológica del Perú, Boletín* 5: 183-186.
- Acosta, J.; Marocco, R.; Quispe, R. 2002. Facies y ambientes sedimentarios de la parte proximal de una cuenca de antearco: el Grupo Moquegua (Dpto. de Moquegua) resultados preliminares. *In Congreso Peruano de Geología, No. 11, Sociedad Geológica del Perú, Resúmenes Extendidos: 10 p. Lima.*
- Acosta, H.; Alván, A.; Mamani, M.; Rodríguez, J. 2011. Geología de los Cuadrángulos de Pachía (36-v) y Palca (36-x) (dos mapas). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Dirección de Geología Regional, Carta Geológica Nacional, Boletín 139, Serie A: 96 p. Lima.
- Acosta, H.; Alván, A.; Mamani, M.; Rodríguez, J.; Cutipa, M. 2012. Geología de los Cuadrángulos de La Yarada, Tacna y Huaylillas, Hojas 37-u, 37-v y 37-x (tres mapas). Escala 1:50.000. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Dirección de Geología Regional, Carta Geológica Nacional, Boletín 45, Serie A: 114 p. Lima.
- Alván, A.; Von Eynatten, H.; Dunkl, I.; Gerdes, A. 2015. Zircon U-Pb geochronology and heavy mineral analysis of the Camaná Formation, southern Perú (16°25'S to 17°15'S): constraints to sediment provenance and exhumation of the Coastal and Western cordilleras. *Journal of South American Earth Sciences* 61: 14-32.
- Alván, A.; Jacay, J.; Von Eynatten, H.; Dunkl, I.; Bustamante, Y. 2017a. Arquitectura Estratigráfica Onshore-Offshore de la Cuenca Cenozoica Camaná-Mollendo (Antearco Externo del Sur de Perú): Implicancias en la Exploración de Hidrocarburos. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú* 112: 78-102.
- Alván, A.; Ramírez, K.; von Eynatten, H.; Dunkl, I.; Jacay, J.; Bertone, G. 2017b. Evolución Geológica de las Cuencas de Antearco del Sur de Perú (Moquegua y Camaná-Mollendo): Proveniencia Sedimentaria y Análisis de Facies en Rocas Cenozoicas. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú* 112: 53-77.
- Alván, A.; Jacay, J.; Caracciolo, L.; Sánchez, E.; Trinidad, I. 2018. Facies Analysis of the Mesozoic clastic rocks in Southern Peru (Tacna, 18°S): Towards a Paleoenvironmental Redefinition and Stratigraphic Reorganization. *Journal of South American Earth Sciences* 84: 399-421.
- Becerra, I. 2017. Caracterización estructural de la Cuenca Mesozoica Arequipa en Pachía (36v) y Palca (36x) mediante análisis microtectónico e integración con información sísmica del subsuelo. Tesis de Ingeniero Geólogo (Inédito), Universidad Nacional de Cajamarca, Perú: 199 p.
- Bellido, E. 1969. Sinopsis de la geología del Perú. Comisión de la Carta Geológica Nacional (CCGN), INGEMMET, Perú. Carta Geológica Nacional, Boletín 22, Serie A: 54 p. Lima.
- Bellido, E. 1975. Geología del Cuadrángulo de Moquegua, Hoja 35-u. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Comisión de la Carta Geológica Nacional, Carta Geológica Nacional, Boletín 15, Serie A: 78 p. Lima.
- Bellido, E.; Narváez, S. 1960. Geología del Cuadrángulo de Atico, Hoja 33-o. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Dirección de Geología Regional, Comisión de la Carta Geológica Nacional, Boletín 2, Serie A: p. 59. Lima.
- Bellón, H.; Lefèvre, C. 1976. Données géochronométriques sur le volcanisme andin dans le sud du Pérou. Implications volcano tectoniques. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Serie D, Sciences Naturelles* 283 (1): 1-4.
- Benavides, V. 1999. Chapter 3: Orogenic Evolution of the Peruvian Andes: The Andean Cycle. *In Geology and Ore Deposits of the Central Andes* (Skimer, B.; editor). Society of Economic Geologists, Special Publication 7: 61-108.
- Benites, A. 2017. Variaciones del nivel del mar y cronozonas de ammonites Jurásicos en el sur de la Cuenca Arequipa (Sur de 17°S) Perú: Esquema evolutivo. Tesis de Ingeniero Geólogo (Inédito), Universidad Nacional de Piura: 181 p. Perú.
- Bernet, M.; Garver, J.I. 2005. Fission-track Analysis of Detrital Zircon. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 58: 205-238.
- Bowring, S.A.; Schmitz, M.D. 2003. Chapter 11: High-precision U-Pb zircon geochronology and the stratigraphic record. *In Zircon* (Hanchar, J.M.; Hoskin, P.W.O.; editores). *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 53: 305-326.
- Bustamante, Y. 2017. Procedencia Sedimentaria de Depósitos Cenozoicos en Base a Análisis de Minerales Pesados en Pachía (36v) y Tacna (37v), Tacna. Tesis de Ingeniero Geólogo (Inédito), Universidad Nacional de Cajamarca: 172 p. Perú.

- Decou, A.; Von Eynatten, H.; Mamani, M.; Sempere, T.; Wörner, G. 2011. Cenozoic forearc basin sediments in Southern Peru (15-18°S): Stratigraphic and heavy mineral constraints for Eocene to Miocene evolution of the Central Andes. *Sedimentary Geology* 237: 55-72.
- 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* 45: 6-23.
- Dickinson, W.W.; Gehrels, G.E. 2009. Use of U-Pb ages of detrital zircons to infer maximum depositional ages of strata: A test against a Colorado Plateau Mesozoic database. *Earth and Planetary Science Letters* 288: 115-125.
- Dunkl, I.; Székely, B. 2002. Component analysis with visualization of fitting-PopShare, a windows program for data analysis. *Goldschmidt conference abstracts 2002. Geochimica et Cosmochimica, Acta* 66 (15A): p. 201.
- Evenstar, L.A.; Mather, A.E.; Hartley, A.J.; Stuart, F.M.; Sparks, R.S.J.; Cooper, F.J. 2017. Geomorphology on geologic timescales: Evolution of the late Cenozoic Pacific paleosurface in Northern Chile and Southern Peru. *Earth-Science Reviews* 171: 1-27.
- Flores, A. 2004. Avances sobre la historia geológica de la Región de Tacna : Sedimentología de la Unidad Magollo (Mioceno medio y/o superior). *Nuevas contribuciones del IRD y sus contrapartes al conocimiento geológico del sur del Perú, Boletín* 5: 187-194.
- Flores, A.; Sempere, T. 2002. Avances en la historia geológica del valle de Tacna. *In Congreso Peruano de Geología, No. 11, Sociedad Geológica del Perú, Resúmenes Extendidos: 22 p.* Lima.
- Flores, A.; Sempere, T.; Fornari, M. 2004. Síntesis actualizada de la estratigrafía del Cenozoico en el extremo sur del Perú. *In Congreso Peruano de Geología, No. 12, Resúmenes Extendidos: 346-352.* Lima.
- France, L.J.; Clark, A.H.; Farrar, E. 1984. Geochronological and petrological studies of Tertiary igneous rocks, Cordillera Occidental, southernmost Peru: a preliminary report. *Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Reporte Interno: 28 p.* Lima.
- García, M.; Gardeweg, M.; Clavero, J.; Hérial, G. 2004. Hoja Arica, Región de Tarapacá. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica* 84: 150 p., 1 mapa escala 1:250.000. Santiago
- Garzzone, C.N.; Hoke, G.D.; Libarkin, J.C.; Withers, S.; MacFadden, B.; Eiler, J.; Ghosh, P.; Mulch, A. 2008. Rise of the Andes. *Science* 320 (5881): 1304-1307.
- Gregory-Wodzicki, K.M. 2000. Uplift history of the Central and Northern Andes: A review. *Geological Society of America Bulletin* 112 (7): 1091-1105.
- Haschke, M.; Günther, A.; Melnick, D.; Echter, H.; Reutter, K.J.; Scheuber, E.; Oncken, O. 2006. Chapter 16: Central and South Andean Tectonic Evolution Inferred from Arc Magmatism. *In The Andes, Active Subduction Orogeny* (Oncken, O.; Chong, G.; Franz, G.; Giese, P.; Götze, H.-J.; Ramos, V.A.; Strecker, M.R.; Wigger, P.; editors). Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 337-349. Berlin.
- Horton, B.K. 2018. Sedimentary record of Andean mountain building. *Earth-Science Reviews* 178: 279-309.
- Horton, B.K.; Gillis, R.J.; Farley, K.A.; Wörner, G. 2007. Kinematic evolution of the central Andean fold-thrust belt and hinterland plateau inferred from synorogenic strata and low-temperature thermochronology. *In Geological Society of London, Continental Tectonics and Mountain Building, Specialty Meeting, Abstract: 4 p.* Berlin.
- Hubert, J.F. 1962. A Zircon-Tourmaline-Rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones. *Journal of Sedimentary Petrology* 32 (3): 440-450.
- Isacks, B.L. 1988. Uplift of the Central Andean plateau and bending of the Bolivian orocline. *Journal of Geophysical Research* 93: 3211-3231.
- Jaén, H.; Ortiz, G. 1963. Geología de los Cuadrángulos de La Yarada y Tacna (Hojas 37-u y 37-v). *Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Dirección de Geología Regional, Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín* 6, Serie A: 54 p. Lima.
- Jordan, T.E.; Isacks, B.L.; Allmendinger, R.W.; Brewer, J.A.; Ramos, V.A.; Ando, C.J. 1983. Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate. *Geological Society of America Bulletin* 94 (3): 341-361.
- Ludwig, K.R. 2003. User's Manual for Isoplot 3.00: a Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology 4. Center Special Publication: 70 p.*
- Madella, A.; Delunel, R.; Audin, L.; Schlunegger, F.; 2018. Why is there no Coastal Cordillera at the Arica Bend (Western Central Andes)? *Basin Research* 30 (1): 248-268.
- Mahlburg-Kay, S.; Mpodozis, C. 2002. Magmatism as a probe to the Neogene Shallowing of the Nazca plate beneath the modern Chilean flat-slab. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 39-57.
- Mahlburg-Kay, S.; Godoy, E.; Kurtz, A. 2005. Episodic arc migration, crustal thickening, subduction erosion, and magmatism in the south-central Andes. *Geological Society of America Bulletin* 117 (1-2): 67-88.

- Mamani, M.; Wörner, G.; Sempere, T. 2010. Geochemical variations in igneous rocks of the Central Andean orocline (13°S to 18°S): Tracing crustal thickening and magma generation through time and space. *Geological Society of America* 122: 162-182.
- Mamani, M.; Rodríguez, R.; Acosta, H.; Jaimes, F.; Navarro, P.; Carlotto, V. 2012. Características Litológicas y Geoquímicas más Resaltantes de los Arcos Magmáticos del Perú desde el Ordovícico. *In Congreso Peruano de Geología*, No. 16, Sociedad Geológica del Perú, Resúmenes Extendidos: 5 p.
- Mange, M.A.; Maurer, H.F.W. 1992. *Heavy Minerals in Colour*. Chapman and Hall: 147 p. London.
- Mange, M.A.; Dewey, J.F.; Wright, D.T. 2003. Heavy minerals solve structural and stratigraphic problems in Ordovician strata of the western Irish Caledonides. *Geological Magazine* 140 (1): 25-30.
- Marocco, R.; Noblet, C. 1990. Sedimentation, tectonism and volcanism relationships in two Andean basins of southern Peru. *Geologische Rundschau* 79 (1): 111-120.
- 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* 75: 73-90.
- Martínez, C.; Vargas, R.; Montoya, J.; Chamorro, C.; Zenteno, E. 1996. Estudio hidrogeológico de las pampas de La Yarada y Hospicio, Tacna. Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional de Recursos Naturales. Informe Técnico 8: 45 p. Lima.
- Miall, A.D. 1996. *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*. Springer-Verlag: 582 p. New York.
- Miall, A.D. 2014. *Fluvial Depositional Systems*. Springer: 322 p. Berlin.
- Monge, R.; Cervantes, J. 2000. Memoria explicativa de la Geología del Cuadrángulo de Pachía y Palca (36-v). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico: 11 p. Lima.
- Morton, A.C.; Hallsworth, C.R. 1999. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology* 124: 3-29.
- Narváez, S. 1964. Geología de los cuadrángulos de Ilo (36t) y Locumba (36u). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Dirección de Geología Regional, Carta Geológica Nacional, Boletín 7, Serie A: 75 p.
- Nemec, W.; Steel, R.J. 1984. Alluvial and Coastal Conglomerates: Their Significant Features and Some Comments on Gravelly Mass-Flow Deposits. *In Sedimentology of Gravels and Conglomerates* Canadian Society of Petroleum Geologists (Kosler, E.; Steel, R.J.; editores). *Memoir* 10: 1-31.
- Noble, D.; Sébrier, M.; Mégard, F.; McKee, E. 1985. Demonstration of two pulses of Paleogene deformation in the Andes of Peru. *Earth and Planetary Science Letters* 73: 345-349.
- Noury, M.; Philippon, M.; Bernet, M.; Paquette, J.L.; Sempere, T. 2017. Geological record of slab-induced extension in the southern Peruvian forearc. *Geological Society of America* 45 (8): 723-726.
- Oncken, O.; Hindle, D.; Kley, J.; Elger, K.; Victor, P.; Schemmann, K. 2006. Chapter 1: Deformation of the Central Andean Upper Plate System-Facts, Fiction, and constraints for the Plateau Models. *In The Andes, Active Subduction Orogeny* (Oncken, O.; Chong, G.; Franz, G.; Giese, P.; Götze, H.J.; Ramos, V.A.; Strecker, M.R.; Wigger, P.; editores). Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 1-27. Berlin.
- PERUPETRO. 2003. Peruvian Petroleum, A Renewed exploration opportunity. Informe Técnico, PERUPETRO S.A.: 159. Lima.
- PET, 2007. Informe de Avance: Análisis de la Línea Base Geofísica. Proyecto "Afianzamiento de los Recursos Hídricos de Tacna", Actividad: "Compatibilización de los Estudios Hidrogeológicos del Reservorio Acuífero La Yarada". Meta 00782: Estudios Básicos para el Manejo de Cuencas. Informe Técnico, Proyecto Especial Tacna (PET): 113 p.
- Palacios, O.; Castillo, M. 1983. Compendio estratigráfico del Jurásico-Cretáceo en el Perú, Faja Costanera y Andina. *Revista de la Sociedad Geológica del Perú*, Boletín 71: 263-277.
- Palacios, O.; De la Cruz, J.; De la Cruz, N.; Klinck, B.; Ellison, R.; Hawkins, M.P. 1993. Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca-Sur del Perú. Proyecto Integrado del Sur. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Carta Geológica Nacional, Boletín 42, Serie A: 257 p. Lima.
- Petersen, U. 1958. Structure and uplift of the Andes of Peru, Bolivia, Chile and adjacent Argentina. *Sociedad Geológica del Perú*, Boletín 33: 57-218.
- Quang, C.; Clark, A.; Lee, J.K.; Hawkes, N. 2005. Response of supergene processes to episodic Cenozoic uplift, pediment erosion, and ignimbrite eruption in the porphyry copper province of southern Peru. *Economic Geology* 100: 87-110.
- Reiners, P.W.; Ehlers, T.A.; Zeitler, P.K. 2005. Chapter 1: Past, Present, and Future of Thermochronology. *In Low-Temperature Thermochronology: Techniques, Interpretations, and Applications* Reiners (Reiners, P.W.; editores). *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 58: 1-18.

- Salas, R.; Kast, R.F.; Montesinos, F.; Salas, I. 1966. Geología y recursos minerales del departamento de Arica (Chile). Instituto de Investigaciones Geológicas. Boletín 21: 174 p. Santiago.
- Salinas, J.; Chambilla, W. 2005. Perforación Exploratoria Diamantina del Pozo TDRY-01. Afianzamiento y Ampliación de los Recursos de Tacna: Gestión de Estudios y Proyectos. Informe Técnico Final, Meta 01851 (Elaboración de Estudios Básicos). Proyecto Especial Tacna (PET): 44 p.
- Salinas, J.; Chambilla, W. 2006. Perforación Exploratoria Diamantina del Pozo TDRY-02. Afianzamiento y Ampliación de los Recursos de Tacna: Gestión de Estudios y Proyectos. Informe Técnico 300695, Meta 01851 (Elaboración de Estudios Básicos). Proyecto Especial Tacna (PET): 68 p.
- Sánchez, A.; Rosell, W.; Raymundo, T. 2000. Memoria explicativa de la revisión geológica en los cuadrángulos de Punta del Bombón (35s), La Clemesí (35t), Ilo (36t), Locumba (36u), La Yarada (37u), Tacna (37v), Huaylillas (37x), Juli (33y), Pizacoma (34y) e Isla Anápi (33z). Franja 1. Memoria Descriptiva. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Dirección de Geología Regional: 40 p. Lima.
- Sempere, T.; Jacay, J. 2008. Anatomy of the Central Andes: Distinguishing between western, magmatic Andes and eastern, tectonic Andes. *In* International Symposium on Andean Geodynamics, No. 7. Extended abstracts: 504-507. Nice.
- Sempere, T.; Fornari, M.; Acosta, J.; Flores, A.; Jacay, J.; Pena, D.; Roperch, P.; Taipei, E. 2004. Estratigrafía, geocronología y paleotectónica de los depósitos de antearco del sur del Perú. *In* Congreso Peruano de Geología, No. 12, Sociedad Geológica del Perú, Resúmenes Extendidos: 366-372.
- Sempere, T.; Noury, M.; García, F.; Bernet, M. 2014. Elementos para una actualización de la Estratigrafía del Grupo Moquegua, sur del Perú. *In* Congreso Peruano de Geología, No. 17, Sociedad Geológica del Perú, Resúmenes Extendidos: 4 p.
- Thouret, J.C.; Wörner, G.; Gunnell, Y.; Singer, B.; Zhang, X.; Souriot, T. 2007. Geochronologic and stratigraphic constrains on canyon incision and Miocene uplift of the Central Andes in Peru. *Earth and Planetary Science Letters* 263: 151-166.
- Tosdal, R.M.; Farrar, E.; Clark, A. 1981. K-Ar Geochronology of the Late Cenozoic volcanic rocks of the Cordillera Occidental, Southernmost Peru. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 10: 157-173.
- Trinidad, I. 2017. Evolución Geodinámica del Mesozoico al Sur de la Cuenca Arequipa en el Sur del Peru (17°-18°S Latitud Sur) Basado en Análisis de Minerales Pesados. Tesis de Ingeniero Geólogo (Inédito), Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión: 108 p. Perú
- Vargas, L. 1970. Geología del Cuadrángulo de Arequipa. Dirección de Geología Regional, INGEMMET, Perú, Boletín 24, Serie A: Carta Geológica Nacional: 64 p.
- Vatin-Perignon, N.; Poupeau, G.; Oliver, R.A.; Lavenue, A.; Labrin, F.; Keller, F.; Bellot-Gurlet, L. 1996. Trace and rare-earth element characteristics of acidic tuffs from Southern Peru and Northern Bolivia and a fission-track age for the Sillar of Arequipa. *Journal of South American Earth Sciences* 9: 91-109.
- Vermeesch, P. 2012. On the visualisation of detrital age distributions. *Chemical Geology* 312-313: 190-194.
- Vicente, J.C., 1981. Elementos de la estratigrafía Mesozoica sur Peruana. *In* Cuencas sedimentarias del jurásico y cretácico de América del sur (Volkheimer, I.; Musacchio, A.; editores). Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico 1: 319-351. Buenos Aires.
- Wilson, J.; García, W. 1962. Geología de los Cuadrángulos de Pachía y Palca (Hojas 36-v y 36-x). Ministerio de Fomento, Dirección de Minería, Boletín 4, Serie A, Comisión de la Carta Geológica Nacional: 82 p. Perú.
- Wörner, G.; Hammerschmidt, K.; Henjes-Kunst, F.; Lezaun, J.; Wilke, H. 2000. Geochronology (⁴⁰Ar/³⁹Ar, K-Ar and He-exposure ages) of Cenozoic magmatic rocks from Northern Chile (18-22° S): implications for magmatism and tectonic evolution of the central Andes. *Revista Geológica de Chile* 27 (2): 205-240. doi: 10.5027/andgeoV27n2-a04.
- Wörner, G.; Uhlig, D.; Kohler, I.; Seyfried, H. 2002. Evolution of the West Andean Escarpment at 18°S (N. Chile) during the last 25 Ma: uplift, erosion and collapse through time. *Tectonophysics* 345: 183-198.
- Wotzlaw, J.F.; Decou, A.; von Eynatten, H.; Wörner, G.; Frei, D. 2011. Jurassic to Paleogene tectono-magmatic evolution of northern Chile and adjacent Bolivia from detrital zircon U-Pb geochronology and heavy mineral provenance. *Terra Nova*: 1-8.
- Zenteno, E.; Pérez, E.; Gamarra, J.; Curo, M.; Paiva, L. 2003. Estudio Hidrogeológico del Valle Caplina. Evaluación y Ordenamiento de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Caplina. Instituto Nacional de Recursos Naturales, Intendencia de Recursos Hídricos. Informe Técnico: 225 p.