

Aportes sobre los mecanismos de deformación en las rocas sedimentarias de la Formación Cachíos, Yura, región de Arequipa

Contributions on the mechanisms of deformation in the sedimentary rocks of the Cachíos Formation, Yura, Arequipa region

Rosa Liliana Vivanco Leguía^{1,a}, Robert Spier Alba Peña^{1,b}, Christian Augusto Hurtado Enriquez^{1,c}, Aldo Alfonso Alvan De la Cruz^{1,d}

Recibido: 15/12/2022 - Aprobado: 04/02/2023 – Publicado: 30/03/2023

RESUMEN

La Formación Cachíos de la Cuenca sedimentaria Arequipa es la unidad litoestratigráfica más distinguible del Grupo Yura, debido a sus atributos litológicos y sus inusuales características deformacionales. La Fm. Cachíos (± 603 m) se compone de una intercalación de limolitas y arcillitas de grano muy fino, todas de coloración negra a gris muy oscuro, y representadas por las facies *Fl* de A. Miall. Es común encontrar como intercalaciones algunos estratos delgados (<0.5 m) de areniscas cuarzosas gris verdosas, y eventuales estratos más gruesos (de hasta ca. 12 m) del mismo material litológico deformado como olistolitos. Tales estructuras se encuentran frecuentemente con flexuras, eventuales pliegues, slumps, fallas normales sin sedimentarias, y con eventuales diques siliciclásticos, los cuales reflejan un proceso continuo de deformación. Tal asociación de características es distinguible para la Fm. Cachíos, y es atribuible muy probablemente a su composición litológica. La presente investigación, plantea reportar, con aumento de detalle, el cartografiado de tales deformaciones, refinar el espesor estratigráfico, y explicar secuencialmente la geodinámica contemporánea al Calloviano en esta parte de la Cuenca Arequipa.

Palabras claves: Deformación, Yura, Mesozoico, Andes Centrales, Fm. Cachíos.

ABSTRACT

The Cachíos Formation of the Arequipa Sedimentary Basin is the most distinguishable lithostratigraphic unit of the Yura Group, due to its lithological attributes and its unusual deformational features. The Cachíos Fm. (± 603 m thick) is composed of interlayered very fine-grained siltstones and claystones, both dark gray to very dark gray. These sediments represent the *Fl* facies (cf. Miall 1985). It is common to find some intercalations of thin strata (<0.5 m) of gray-green quartz sandstones, and eventual thicker strata (up to ca. 12 m) of the same lithological material deformed as olistoliths. Such structures are frequently found with flexures, eventual folds, slumps, and normal non-sedimentary faults, and eventual siliciclastic dikes, which reflect a continuous process of deformation. Such facies association is representative for the Cachíos Fm., and it is due to its lithological attributes. This research aims to report in detail the mapping of facies related to such deformations, refine the real stratigraphic thickness, and better explain the geodynamics during the Callovian in this part of the Arequipa Basin.

Keywords: Deformation, Yura, Mesozoic, Central Andes, Lithology.

1 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Lima, Perú.

a Estudiante de pregrado. Autor para correspondencia: rosa.vivanco1@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8950-371X>

b Estudiante de pregrado. E-mail: robert.alba@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9584-7949>

c Docente de pregrado. E-mail: cristhian.hurtado.enriquez@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7474-2451>

d Docente de pregrado. E-mail: aalvand@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-0042>

I. INTRODUCCIÓN

Este estudio aporta un análisis sobre las deformaciones sedimentarias presentes en la Fm. Cachíos del Grupo Yura, en su estratotipo del distrito de Yura, región de Arequipa, sur de Perú, donde además se plantea demostrar un buen ejemplo de la colecta de puntos de observación geológica (POGs) como una robusta herramienta de cartografiado geológico, en especial para aportar mayores pistas sobre tales deformaciones. Cada POG se distribuye por cada 20 a 25 m de separación, con información estructural (rumbo y buzamiento de estratos, de fracturas y fallas), litología, facies, mineralogía, muestras, y coordenadas, incluyendo información inter-POG.

Las estructuras sedimentarias de deformación aportan una valiosa información sobre los procesos físicos sin- y post-depositacionales que tienen lugar en el medio sedimentario (Van Loon y Brodzikowski 1987 y Van Loon 1992, como se citó en Alfaro et al. 2000). Entre otros aspectos, también proporcionan información sobre las condiciones hidrodinámicas del medio sedimentario, la orientación de las paleopendientes, algunas características paleosísmicas de la cuenca, etc. (Alfaro et al. 2000), que serán de crucial entendimiento para la Fm. Cachíos del Gpo. Yura.

Diversos autores describen a la Fm. Cachíos como una unidad litoestratigráfica pelítica que contiene abundantes evidencias de deformación pene-contemporáneas tales como slumps y olistolitos (Benavides 1962; León 1981; Vargas 1970; Vicente 1981; entre otros). Por ello, el presente trabajo de investigación busca cartografiar tales deformaciones y definir con mayor resolución los mecanismos de deformación de las rocas sedimentarias de la Fm. Cachíos, valiéndose de las mediciones de slumps y olistolito, y fallas sin sedimentarias.

II. MÉTODOS

2.1. Área de estudio y contexto geológico

El área de estudio se ubica en la sección tipo del Grupo Yura, ubicado políticamente en el departamento de Arequipa, distrito de Yura, a 22 km al noroeste de la ciudad de Arequipa. Se encuentra a una altitud promedio de 2 590 msnm. Corresponde geográficamente a la zona UTM 19K (ver Figura 1). Fue allí donde Benavides (1962) presentó a las voluminosas rocas del Grupo Yura con 5 formaciones tales como Puente, Cachíos, Labra, Gramadal y Hualhuani, asignado a un intervalo de tiempo desde el Calloviano al Berriasiano, y con casi 26 Myr. Sobre tales rocas existen numerosas descripciones sobre la Fm. Cachíos, con diferentes aportes, lo cual nos obliga a rescatar las observaciones más resaltantes para nuestro análisis.

De acuerdo con Benavides (1962), la Fm. Cachíos expone un espesor de 603 m y está constituida de lutitas negras ricas en materia orgánica con algunas intercalaciones de areniscas que se encuentran en canales o en paquetes deslizados que forman olistolitos en un ambiente de talud. En consistencia, Carlotto et al. (2009) adicionaron que estas rocas se han depositado en la parte inferior de un cono submarino o talud inferior.

Según Vicente (1981), los sedimentos finos de la Fm. Cachíos son el resultado de un proceso de transgresión marina en la Cuenca Arequipa, la cual provocó la depositación extensa de sedimentos finos onlapantes sobre la Fm. Puente de Arequipa, y también directamente sobre la Fm. Socosani en Tacna y el resto de las regiones posiblemente. Aunque su contacto con la sobreyacente Fm. Labra es gradacional, es posible establecer un contacto definido en base a la primera aparición de las barras gruesas de areniscas cuarzosas (Vargas 1970) (ver Figura 2).

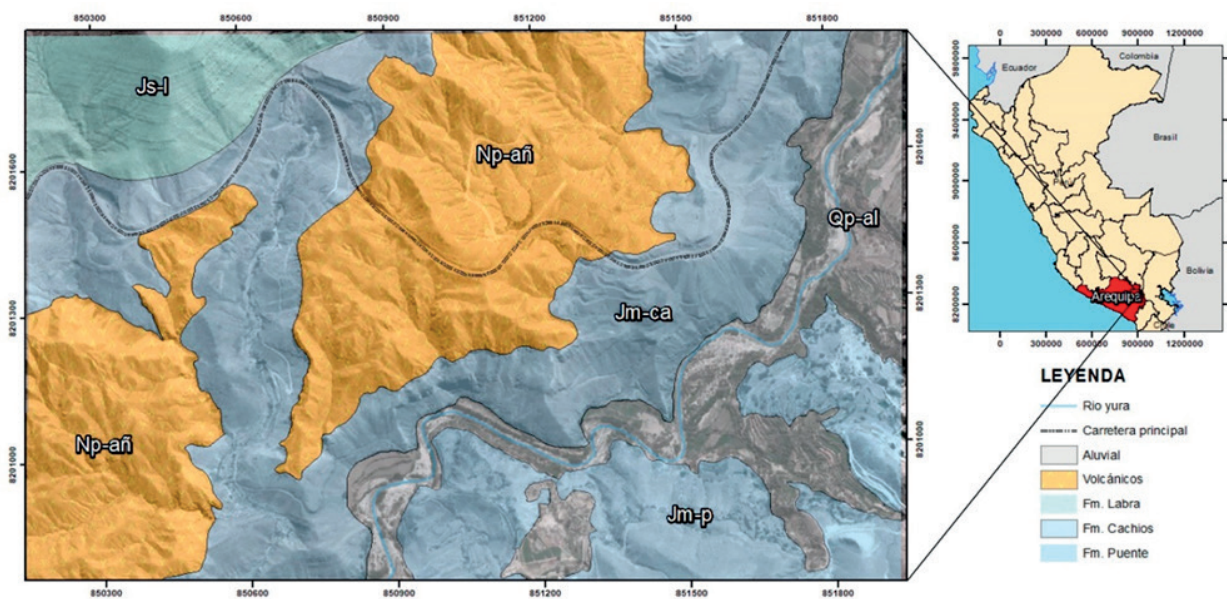


Figura 1. Mapa geológico local de las unidades litoestratigráficas cartografiadas.

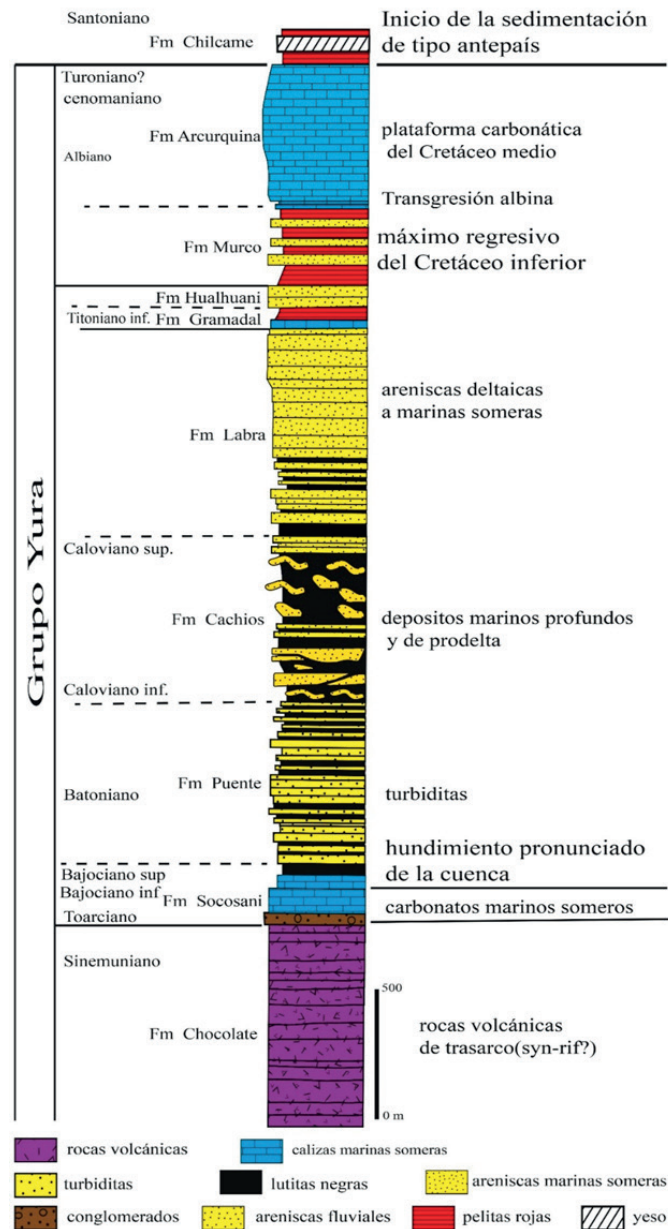


Figura 2. Columna estratigráfica del Grupo Yura según Vicente (1989) y modificado por Sempere et al. (2004). Nótese la dominancia de lutitas en la Fm. Cachíos. Para mayores detalles véase la Figura 4.

Después de la demarcación litoestratigráfica, León (1981) propuso la división de la Fm. Cachíos en 3 miembros tales como (i) Miembro inferior, caracterizado por grandes paleocanales rellenos por paleocanales menores, niveles con slumps e interbarras de conglomerados arcillosos (mud-ripple), los cuales afirmó que son testigos de una fuerte paleopendiente hacia el Este; (ii) Miembro intermedio, caracterizado por grandes bloques y masas “derrumbadas” de areniscas (cf. olistolitos) algunos deformados, y otros conservando su estratificación interna e imbricados hacia el Este; y (iii) Miembro superior, marcado nuevamente por grandes slumping, con presencia de algunos niveles fosilíferos con ammonites y en niveles más superiores de estratos de areniscas con huellas (burrows) de bioturbación

de tipo thalassinoides que indican una merma en el dinamismo de la cuenca y una reducción de la batimetría.

En general, los estratos de esta unidad litoestratigráfica están caracterizados por su poca rigidez, formando pliegues disarmónicos muy apretados y flexurados. Es muy probable que los sedimentos de la Fm. Cachíos en Yura hayan derivado de rocas que estuvieron expuestas por la orogenia Andina y en menor proporción de un arco magmático del Paleozoico, lo cual se refleja en sus valores U-Pb en zircones y ϵNd (véase Chávez et al., 2021). Iquiza et al. (2016) afirmó que cierta parte de su proveniencia de sedimentos fueron derivados de rocas de la Fm. Chocolate, según petrografía en secciones delgadas. Por lo que aparentemente, se tuvo una geodinámica muy activa durante la sedimentación de la

Fm. Cachíos, lo cual refuerza la motivación de los primeros impulsos deformacionales en este sector.

Respecto a la edad, el contenido fosilífero de la Fm. Cachíos consiste en moluscos marinos tales como *Anditrigonia eximia* y *Trigonia carinata*, por lo cual Benavides (1962) logró asignar el intervalo Kimmeridgiano-Jurásico Superior. Después que Acosta et al. (2009) y Alván et al. (2010) refinaron la edad de la Fm. Cachíos de Yura al Calloviano Superior (ca. 2 Myr) en base a asignación de biozonas callovianas, se logró demostrar que la sedimentación de esta unidad ha sido relativamente rápida, y muy afectada por pulsos tectónicos, muy posiblemente vinculados a procesos tempranos de la orogenia Andina.

2.2. Metodología

La metodología empleada en esta investigación se distribuye en 3 etapas: (i) pre-campo, (ii) campo y (iii) post-campo. En la etapa de precampo se realizó la búsqueda y análisis de información bibliográfica existente y análisis de las imágenes satelitales de la zona de estudio para determinar previamente las estructuras geológicas presentes en dicha zona, así como también definir los trayectos estratigráficos que se seguirían en el trabajo de campo.

La etapa de campo consistió en una campaña de 4 días a la zona de estudio. Se realizó un cartografiado geológico-estratigráfico con detalle a escala 1:5,000, logrando coleccionar más de 43 puntos de observación geológica (POGs), considerando además colecta de rocas para sección delgada a la luz polarizada, y elaboración de columnas estratigráficas según los trayectos indicados en la sección 3 (Resultados).

Posteriormente, en la fase de postcampo se procesó los datos coleccionados y se elaboró el mapa litológico de la zona de estudio con ayuda del software ArcGIS, y elaborando los perfiles geológicos con el software Move, el cual es muy adecuado para ayudar a refinar las mediciones estratigráficas. Además, se determinó las facies sedimentarias según Miall (1985) para finalmente reforzar la interpretación de los medios sedimentarios que influenciaron en la acumulación de sedimentos de la Fm. Cachíos.

III. RESULTADOS

3.1. Cartografiado a detalle

La Figura 3 presenta un mapa litológico a detalle a escala 1:5,000 de las rocas mesozoicas de la parte inferior del Grupo Yura, elaborado para este estudio, el cual provee especial énfasis en las rocas de la Fm. Cachíos y resalta la extensión y orientación de pliegues anticlinales, sinclinales, y deformaciones sinsedimentarias asociadas tales como flexuras, slumps, olistolitos, fallas normales sin-sedimentarias y diques siliciclásticos observados en tal formación.

El análisis se basa en el ploteo de 43 POGs distribuidos por cada 20 a 25m de separación (incluyendo información inter-POG). Cada POG se valida con información estructural (rumbo y buzamiento de estratos, de fracturas, fallas sinsedimentarias), litología, mineralogía, muestras de rocas (para sección delgada), y coordenadas. Además se ha elaborado en campo columnas estratigráficas, poniendo énfasis en la Fm. Cachíos (ver Figura 4).

En base a la metodología expuesta, se ha determinado que la Fm. Cachíos se compone de limolitas y arcillitas,

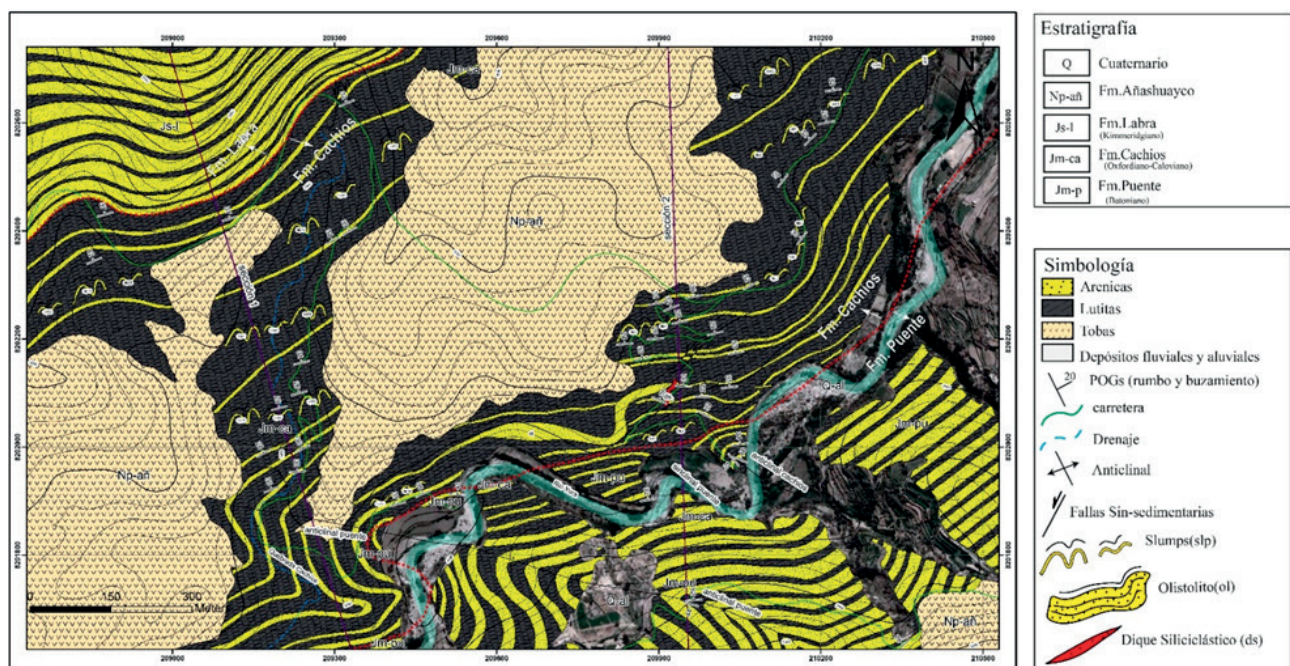


Figura 3. Mapa litológico local de la Fm. Puente, Fm. Cachíos y la Fm. Labra del Grupo Yura en su sección tipo, región de Arequipa. Nótese la orientación de dos líneas (Sección 1 y Sección 2), los cuales indican perfiles geológicos.

ambas de coloración negra a gris oscuro (y eventualmente abigarradas), posicionadas en el tope de la Formación Cachíos. Se observa además intercalaciones de estratos de areniscas cuarzosas gris verdosas de espesores centimétricos y de hasta 12 m de espesor, de granulometría fina a media. Los estratos de esta formación están buzando en promedio hacia el noroeste. Además, en esta formación se ha cartografiado deformaciones sin sedimentarias tales como 2 diques sedimentarios/clásticos (ds.) compuestos de areniscas feldespáticas con matriz de lodo, atribuidas a las facies Ds y 27 slumps (slp.) con dirección NW – SE, un olistolito (ol.) de arenisca cuarzosa gris verdosa de granulometría fina a media (ca. 12m de ancho) con dirección NW – SE, fallas normales sin sedimentarias - en la parte media de la Fm. Cachíos - de rumbo NE-SW, flexuras que afectan estratos “caídos” de areniscas de hasta 5m de espesor. En la zona de transición entre la Fm. Puente y la Fm. Cachíos se han cartografiado pliegues en dirección NW-SE: 2 anticlinales (anticlinal Puente y anticlinal Cachíos) y un sinclinal (sinclinal Puente) (ver Figura 3), mientras que en su parte media a superior ocurren el resto de las deformaciones listadas

3.2. Estudio de facies sedimentarias

Para la determinación de las facies sedimentarias de la Fm Cachíos, se ha levantado en campo una columna estratigráfica a detalle con 360 m de espesor estratigráfico (ver Figura 4). Analizando dicha columna estratigráfica, se observa que la Fm. Cachíos puede dividirse en 2 partes: (i) una superior compuesta por dominancia de arcillitas y limolitas de color gris a oscuro/negro, y (ii) una inferior con eventual aumento de areniscas cuarzosas grises verdosas. En ellas se ha distinguido una serie de facies

sedimentarias, las cuales fueron clasificadas utilizando el criterio de Miall (1985), donde las areniscas se agruparon en facies “*Sp*” (arenisca paralela) y “*Sm*” (arenisca masiva), y los sedimentos lutíticos se clasificaron como facies “*Fl*” (arcillitas y limolitas laminadas).

La facies “*Sp*” consisten en areniscas de grano fino a medio, con granos subredondeados y bien clasificados. Tales areniscas están dispuestas en estratos centimétricos hasta mayor de 12 m de espesor. Esta facies ocurre como intercalaciones en toda la Fm. Cachíos, aunque con preferencia en su parte inferior (ver Figura 4).

La facies “*Sm*” consisten en areniscas cuarzosas gris verdosas de grano medio a fino. Los granos están subredondeados y bien clasificados. Esta litofacies aparece como estratos de más de 1 metro de espesor, sin estructuras internas. Sin embargo, es posible observar una laminación paralela muy pobre. Estas facies están alternadas con las facies “*Sh*” (ver Figura 4).

Los sedimentos de la facies “*Fl*” consisten principalmente en arcillas y limolitas de color gris negro a gris oscuro dispuestas en capas delgadas. En su conjunto estratificado exhibe una geometría de láminas milimétricas. Esta litofacies está deformada por slumps y olistolitos, fallas normales sin-sedimentarias, locales centimétricas a métricas, y diques siliciclásticos (los cuales eventualmente se tornan sills). Esta facies es la de mayor predominancia en la Fm. Cachíos (ver Figura 4). Estas areniscas contienen una textura esquelética muy diferente a las facies reportadas de los estratos que conforman la Fm Cachíos, es decir, se evidencia que tiene mayor cantidad de granos de plagioclasas, y mayor proporción de matriz, lo cual luce

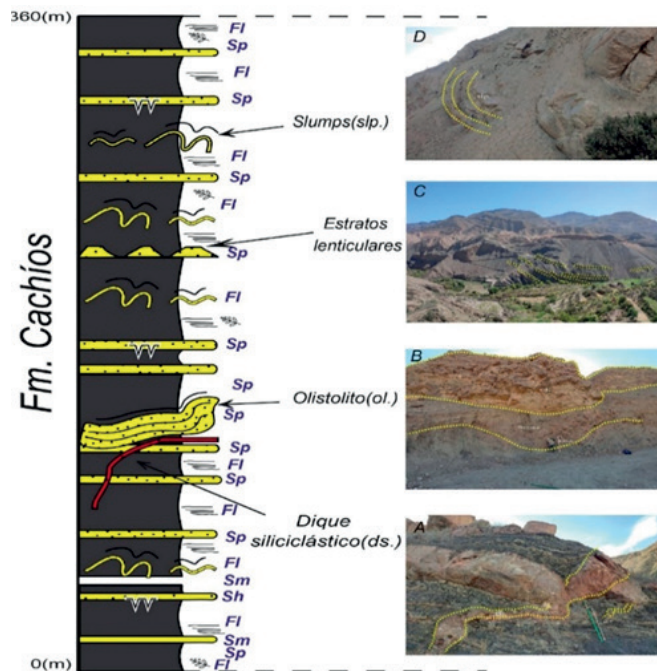


Figura 4. Columna estratigráfica en detalle de la Fm. Cachíos. Nótese la definición de facies sedimentarias y su vinculación con las estructuras de deformación. En las fotos, las líneas amarillas punteadas sugieren atender al detalle.

muy similar a lo descrito por Benavides (1962) sobre las rocas de la Fm. Puente. En ese contexto, las areniscas de los diques/sills clásticos tiene la nomenclatura de facies Ds.

En base a la definición de estas facies sedimentarias, se puede afirmar contundentemente que la Fm. Cachíos está caracterizada principalmente por los elementos arquitecturales *FF* (depósitos de offshore superior) y *LS* (cuerpos tabulares de arenas laminadas); y subordinadamente *LA* (Acreción lateral) y *SB* (formas de piso arenosas). Integrando nuestras observaciones con las evidencias paleontológicas y sedimentarias de la literatura (i.e, Chávez, 1981; Vicente, 1981; Vicente et al., 1982; Jacay, 2005), nos lleva a considerar dos posibles ambientes sedimentarios de deposición, es decir, (i) una amplia llanura de offshore (superior?) a través del cual

era común el hábitat de ammonites y una gran proporción de plantas fragmentarias aparentemente retrabajadas, y (ii) una periódica deposición de barras de arena muy posiblemente por influencia de sinuosidades de zonas más elevadas o próximas a la línea de costa. Se está de acuerdo en que las facies definidas aquí como *FF* han sido depositados en una zona de offshore; sin embargo, se pone en debate su profundidad (planteada como profunda por anteriores estudios), por el cual se presenta argumentos de relativa somerización para este sector.

3.3. Respecto a la Interpretación de los mecanismos de deformación

Se ha realizado dos perfiles geológicos tales como Perfil 1 y Perfil 2 (figuras 5 y 6, respectivamente), los cuales están orientados en dirección NNW–SSE y N–S respectivamente,

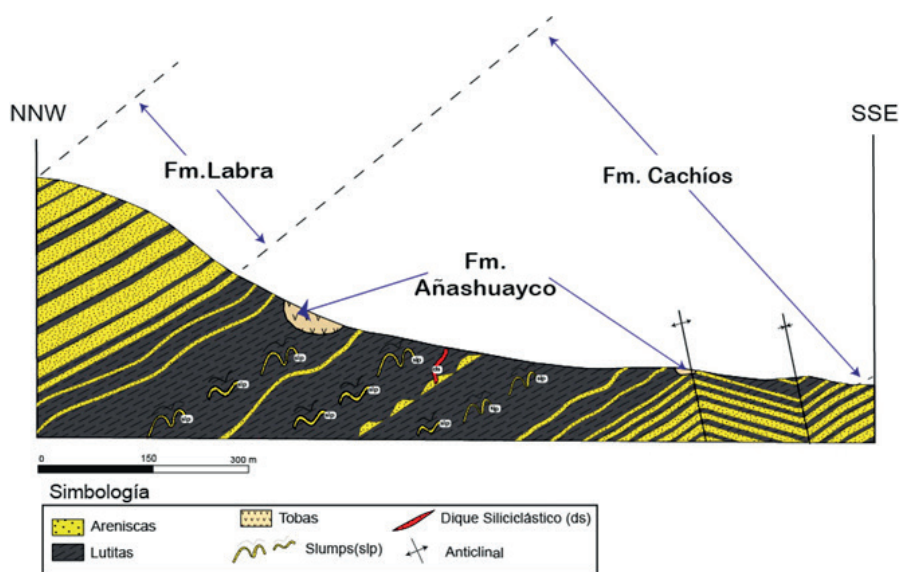


Figura 5. Perfil 1 elaborado en base a la presentación de POGs en el mapa litológico a detalle de la zona de estudio.

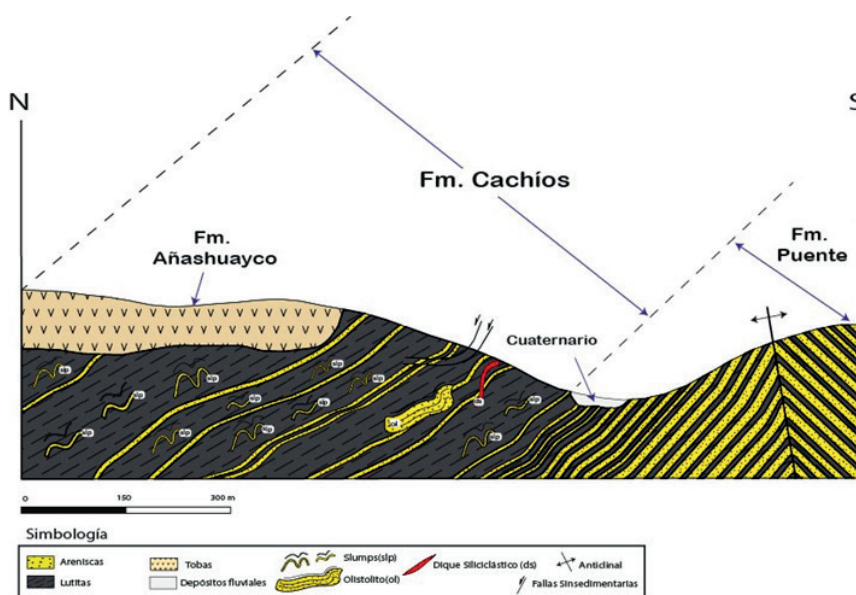


Figura 6. Perfil 2 basado en el ploteo de POGs en el mapa litológico a detalle de la zona de estudio.

con el objetivo de esbozar apreciaciones preliminares sobre la evolución de deformación de la Fm. Cachíos y una mejor aproximación sobre su espesor real.

En ambos perfiles geológicos se observan evidencias contundentes de deformaciones sin-sedimentarias tales como slumps y olistolitos, los cuales se asocian con estratos lenticulares de aparente contexto “caído” compuestos de areniscas de la facies *Sm*; así como también con diques (sills) siliciclásticos y fallas normales sin-sedimentarias. Sin embargo, se observa que tales olistolitos se han depositado por gravedad y deforman localmente también al material subyacente compuesto de lutitas (facies *Fl*).

Por otro lado, por la orientación de los slumps y olistolitos, se infiere que el transporte de sedimentos se haya dado en general hacia el suroeste y/u oeste (cf. Vicente, 1981). Respecto al límite estratigráfico entre la Fm. Cachíos y la Fm. Labra, vemos que en el Perfil 1 (Figura 5) muy posiblemente a causa del aumento de la gradiente topográfica, los estratos de estas formaciones muestran un aumento gradacional demostrado en sus cambios verticales de facies (mas areniscas), y generan así un límite estratigráfico bien definido el cual ayuda a la cartografía. Por otro lado, tal acumulación sedimentaria habría de afectar tectónicamente (presión litostática) los depósitos inconsolidados sobreyacentes, como material “alóctono” (cf. Vicente et al. 1981).

Se puede esbozar además una secuencia lógica de deformaciones, donde (i) muy posiblemente en el Calloviano se generaban los slumps, olistolitos y fallas sin-sedimentarias; mientras que en (ii) los plegamientos Puente y Cachíos (véase su ploteo en el mapa de la Figura 3) ocurrieron muy posiblemente en el Eoceno, junto con los primeros rasgos de elevación andina (cf. Oncken et al. 2006).

Esta deducción ha sido reforzada por el recuento estratigráfico de la Figura 4, donde se elaboró una descripción reforzada a partir de la colecta de 43 POGs y de columnas estratigráficas unificadas de los trayectos seguidos en campo.

IV. DISCUSIÓN

Se tiene amplio consenso en que la orogenia de los Andes Centrales se hizo evidente a partir de la sedimentación del Cretácico Superior o bien el Paleógeno Superior; es decir, con el cartografiado y análisis de las formaciones Capas Rojas, Moquegua, entre otras. Sin embargo, aún no está claro el proceso de levantamiento prior- exhumación de las rocas que conforman el orógeno de los Andes Centrales. En ese contexto, se presentará argumentos con lo revisado en Yura.

Según Allen (1970), estratos lenticulares de areniscas en geometría “deslizada” y deformaciones notorias tales como slumps y olistolitos, se pueden generar en diferentes ambientes y escalas, y también en una amplia gama de entornos, incluidos los entornos marino, fluvial, lacustre, deltaico y poco profundo. Por lo tanto, la existencia de estas depresiones no puede restringirse únicamente a ambientes

de aguas profundas. Sin embargo, en base a esta premisa y a la asociación de facies y perfiles geológicos en el presente estudio, deducimos que los sedimentos de la Fm. Cachíos corresponden a una notoria facies de offshore proximal, de poca gradiente con una próxima influencia continental, la cual puede ser mejor restringida con un control más detallado en la colecta de paleoflora.

La depositación de la Fm. Cachíos ha tenido lugar en la progradación marina ocurrida en el Calloviano, esto es evidenciado claramente por las colectas de ammonites reineckeidos de la literatura, por la naturaleza en la depositación de sus sedimentos y por la presencia de una densidad de slumps y olistolitos, los cuales evidencian un proceso continuo de deformación muy conocido en esta línea de tiempo del sur de Perú. Ahora bien, uno de los principales factores que han permite la presencia de estas deformaciones sedimentarias en la Fm. Cachíos es su composición litológica, en su mayor parte de arcillitas y limolitas gris oscuras.

Respecto a la presencia de diques sedimentarios, fallas normales sin sedimentarias y estratos lenticulares caídos de areniscas, que le confieren un carácter caótico a la Fm. Cachíos; se ha originado por una tectónica local/regional relaciona con la progradación fluvial del Calloviano. Esto ha ocasionado espacios de alojamiento y sumado con la rápida sedimentación, ha dado lugar a la formación de diques siliciclásticos, y también eventuales diques andesíticos ocultos entre las menores quebradas del río Chili.

Es muy posible que los olistolitos cartografiados en el zona de estudio de la Fm Cachíos, los cuales tienen ca. 12 m de espesor, hayan sido deslizados sobre las arcillitas y limolitas de la Fm. Cachíos, debido a que posee la misma litología que las areniscas cuarzosas gris verdosas de la Fm. Labra, por lo cual se recomienda que se proceda a realizar una sección delgada para aplicar el método de Gazzi-Dickinson, a fin de determinar la proveniencia de tales areniscas.

V. CONCLUSIONES

Se concluye dos puntos cruciales para el entendimiento de los mecanismos de deformación en las rocas sedimentarias de la Fm. Cachíos:

- Las sedimentitas de la Fm. Cachíos en Yura Arequipa corresponden a una gran facies marina somera y sinuosa, con numerosas barras de areniscas originadas por la progradación marina ocurrida en el Calloviano Inferior a Calloviano Medio.
- Las deformaciones sedimentarias que caracterizan a la Fm. Cachíos se debe a 2 factores principales, tales como la progradación marina del Calloviano y su composición litológica de arcillitas y limolitas, las cuales habrían de proveer una inusual cantidad de sedimentos a esta parte de la cuenca, y abrieron el paso a la formación de slumps, olistolito y flexuras.

- El régimen tectónico extensional relacionado a la progradación del Calloviano (al menos local), la cual influyó en la formación de fallas normales sin sedimentarias. Además, los espacios de alojamiento (basinal) generados por dicho tectonismo y sumado con la rápida sedimentación, ha dado lugar a la formación de diques siliciclásticos, en consistencia con las otras deformaciones listadas

VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM, Lima) por el apoyo institucional, especialmente a sus autoridades. Estas actividades de investigación se enmarcan en las lecturas del curso de pregrado Geología de Campo 2 de la E.P. Ingeniería Geológica (código 162064) y también en las actividades del Grupo de investigación CINGEA (UNMSM, Lima).

VII. REFERENCIAS

- Acosta, H., Alván, A., Hillebrandt, A. von, Riegraf, W., & Oviedo, M. (2009). Nuevos aportes en la sedimentología y paleontología de las formaciones Chocolate y Socosani (Jurásico inferior a medio) en el distrito de Yura, Arequipa (sur de Perú). *Sociedad Geológica del Perú*. Volumen Especial N° 7, p. 63-78. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/Reg-201.pdf>
- Alfaro, P., Estévez, A., Moretti, M., & Soria, J.M. (2000). Estructuras sedimentarias de deformación en el Mioceno superior-cuaternario de la cordillera Bética. *Rev. Sociedad Geológica de España*, 13 (1), p. 79-89. <http://hdl.handle.net/10045/22891>
- Allen, J. (1970). Studies in Fluvial Sedimentation: A comparison of Fining Upwards Cyclothems, with Special Reference to Coarse - member Composition and Interpretation. *Journal of Sedimentary Research*. Vol. 40, 298-323. <https://archives.datapages.com/data/sepm/journals/v38-41/data/040/040001/0298.htm>
- Alván, A., Vennari, V., Acosta, H., Shaddai, B., & Girardo, E. (2010). División y comparación biozonal del Jurásico medio y superior en la cuenca Arequipa, sur del Perú: resultados iniciales. XV Congreso Peruano de Geología. *Rev. Sociedad Geológica del Perú*, p. 200 - 203. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2902>
- Benavides, V. (1962). Estratigrafía Pre-terciaria de la región de Arequipa. II Congreso Nacional de Geología. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*. Vol. 38, p. 5-63.
- Chávez, C., Roddaz, M., Dantas, E., Ventura, R., Alvan, A., 2021. Provenance of the Middle Jurassic Cretaceous sedimentary rocks of the Arequipa Basin (South Peru) and implications for the geodynamic evolution of the Central Andes. *Gondwana Research*, v. 101, p- 59-76.
- Chávez, A. (1981). Estratigrafía y tectónica de Chapi, Arequipa. [Tesis de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú] 92 p,
- Iquiapaza, E.; Alván, A.; Sánchez, E. & Mamani, M. (2016). Petrología y litogeoquímica sedimentaria del Grupo Yura, en el departamento de Tacna (Cuenca Arequipa). XVIII

Congreso Peruano de Geología. *Rev. Sociedad Geológica del Perú*. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2646>

- Jacay, J. (2005). Análisis de los depósitos de corrientes de alta densidad de la Formación Puente (Cuenca Arequipa), sur del Perú. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG*. Vol. 8, N.º16, p. 51-56. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bivirtualdata/publicaciones/geologia/vol8_n16/a08.pdf
- León, I. (1981). Antecedentes Sedimentológicos del Jurásico-Cretácico de Yura. [Tesis de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú], p. 119.
- Miall, A. (1985). Architectural-Element Analysis: A new Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits. *Earth-Science Reviews*. Vol. 22, p. 261-308. [http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252\(85\)90001-7](http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252(85)90001-7)
- Oncken, O., Hindle, D., Kley, J., Elger, K., Victor P., & Schemmann, K. (2006). Deformation of the Central Andean Upper Plate System – Facts, Fiction, and Constraints for Plateau Models, p. 3-27. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-48684-8_1
- Sempere, T., Carlier, G., Soler, P., Fornari, M., Carlotto, V., Jacay, J., Arispe, O., Néraudeau, D., Cardenas, J., Rosas, S., & Jiménez, N. (2002). Late Permian-Middle Jurassic lithospheric thinning in Peru and Bolivia, and its bearing on Andean-age tectonics. *Tectonophysics*. Vol. 345, p.153-181. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(01\)00211-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00211-6)
- Vargas, L. (1970). Geología del Cuadrángulo de Arequipa. Serie A: Carta Geológica Nacional. INGEMMET, Dirección de Geología Regional, Perú. Boletín N° 24, 64 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/142>
- Vicente, J.C., Beaudoin, B., Chávez, A., León, T., 1982. La cuenca de Arequipa (Sur Perú) durante el Jurásico y Cretácico Inferior. V Congreso Latinoamericano de Geología 1, 121-153.
- Vicente, J. (1981). Elementos de la Estratigrafía Mesozoica Surperuana. *Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico: Cuencas sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur*. Vol. 1, p. 319- 351. http://mmtk.ginras.ru/pdf/Vicente,1981_Mz_Peru.pdf

Contribución de autoría

Conceptualización: Rosa Liliana Vivanco Leguia & Robert Spier Alba Peña; Curación de datos: Robert Spier Alba Peña; Análisis formal: Robert Spier Alba Peña & Rosa Liliana Vivanco Leguia; Adquisición de fondos: Aldo Alfonso Alvan De la Cruz; Investigación: Rosa Liliana Vivanco Leguia & Robert Spier Alba Peña; Metodología: Aldo Alfonso Alvan De la Cruz; Administración del proyecto: Aldo Alfonso Alvan De la Cruz; Recursos: Aldo Alfonso Alvan De la Cruz & Christian Augusto Hurtado Enriquez; Software: Christian Augusto Hurtado Enriquez; Supervisión: Aldo Alfonso Alvan De la Cruz & Christian Augusto Hurtado Enriquez; Validación: Aldo Alfonso Alvan De la Cruz & Christian Augusto Hurtado Enriquez; Visualización: Robert Spier Alba Peña; Redacción - borrador original: Rosa Liliana Vivanco Leguia, Redacción - revisión y edición: Rosa Liliana Vivanco Leguia & Aldo Alfonso Alvan De la Cruz.