

**Aportes en la bioestratigrafía Calloviana de la Formación Cachíos
en su Localidad Tipo Yura, Arequipa - Perú (16° S)**

**Contributions in the Callovian biostratigraphy of the Cachios
Formation in its Type Locality Yura, Arequipa - Peru (16° S)**

Alexandra Pamela Bustos Lostaunau¹, Frank Erick Carrasco Aldave²

¹ Empresa Altitude Discoveries. Lima- Perú. alexandra.bustos@unmsm.edu.pe

² Empresa GeoWorld. Lima-Perú. Empresa GeoWorld FS. Lima-Perú. frank.carrasco@unmsm.edu.pe

ISSN: 2661-6998

Fecha de recepción: 22-01-2021

Fecha de aceptación: 21-09-2021

RESUMEN

Este estudio presenta un análisis taxonómico y propuesta de organización bioestratigráfica basado en estudio de ammonites que fueron colectados en el tope de la Formación Cachíos (Grupo Yura), precisamente en el estratotipo de unidad del Grupo Yura, en la Provincia de Arequipa, sur de Perú (16 S). Jenks (10) y Benavides (11) fueron los primeros en estudiar estas rocas en la provincia de Arequipa, nombrándolas como “Grupo Yura” y asignando una edad deposicional del Jurásico Medio al Cretácico Inferior. Según Benavides [11], el estratotipo del Grupo Yura (Arequipa) se divide en cinco miembros (o unidades litoestratigráficas) a saber, Puente, Cachíos, Labra, Gramadal y Hualhuani. Las rocas de estas unidades litoestratigráficas se depositaron antes de la Orogenia Andina, y pertenecen a la Cuenca sedimentaria mesozoica Arequipa, la cual se ubicó en el sur del Perú y se extendió posiblemente hasta Copiapó en el norte de Chile [15, 16, 4]

Los Horizontes de la Formación Cachíos están conformadas por sucesiones de lutitas negras con notorias deformaciones sin-sedimentarias (i.e. fallas, slumps y olistolitos), que se encuentran comúnmente intercaladas con areniscas cuarzosas y grauvacas, las cuales también suelen estar como lentes sedimentarios. Los horizontes paleontológicos reportados en este estudio tienen relevancia en la bioestratigrafía calloviana del sur de Perú debido a que consisten en niveles ricos en amonoideos atribuidos a los géneros Cadoceras sp. (Buckman), Reineckeia sp (Hyatt) y Macrocephalites sp. (Waagen). Debido a que estos ejemplares aparecen en más de un nivel estratigráfico, nos permite proponer la extensión de la zona bioestratigráfica de Reineckeia sp. Debido a la significativa ocurrencia de esta especie marcando la edad de Calloviano; así como también, afirmar que el aporte sedimentario en esta localidad ha sido muy rápido y puede estar vinculado a procesos tectónicos muy activos relacionados a ambientes poco profundos.

Palabras clave: Grupo Yura, Calloviano, Reineckeia, bioestratigrafía, ammonites, paleogeografía.

ABSTRACT

This study presents a taxonomic analysis and proposal for a biostratigraphic organization based on the study of ammonites that were collected at the top of the Cachios Formation (Yura Group), precisely in the unit stratotype of the Yura Group, in the Province of Arequipa, southern Peru. (16 S). Jenks (10), and Benavides (11) were the first to study these rocks in the Arequipa province, naming them “Grupo Yura”, and assigning a depositional age from the Middle Jurassic to the Lower Cretaceous. According to Benavides [11], the stratotype of the Yura Group (Arequipa) is divided into five members (or lithostratigraphic units), namely Puente, Cachios, Labra, Gramadal, and Hualhuani. The rocks of these lithostratigraphic units were deposited before the Andean Orogeny, and belong to the Mesozoic Arequipa sedimentary Basin, which was located in southern Peru and possibly extended to Copiapó in northern Chile [15, 16, 4]

The lithologies’ geomechanical parameters, were processed and interpreted based on knowledge of the geological evolution that the region has experienced, obtaining a geological-geotechnical model that constitutes the technical support for the design of remediation civil works.

Keywords: Yura Group, Callovian, biostratigraphy, Reineckeia, ammonites, paleogeography.

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se fundamenta en la identificación taxonómica de fósiles cefalópodos colectados en las lutitas en la base de la Formación Cachíos del Grupo Yura, considerando que estos ejemplares no solo son comparables con los ejemplares que se han reportados en rocas que alguna vez conformaron el paleo-océano de Tethys, sino también, en numerosas partes del continente Sudamericano, como en Argentina [1]. Es necesario resaltar que las especies en estas latitudes son muy similares a las euroasiáticas por la existencia del antiguo paso entre el mar de Tethys y el Océano Paleopacífico [2, 3]. Las conexiones entre el Pacífico Jurásico y los mares epicontinentales adyacentes de América del Norte y del Sur probablemente fueron mejores que entre el Tethys y el noroeste de Europa [4]. La exactitud de la correlación de la zonación local con la estándar de Europa varía también, a través de los diferentes pisos, debido a que está estrechamente relacionada a cambios biogeográficos controlados por modificaciones en el nivel del mar y en las rutas migratorias entre el "Tethys" y el Pacífico oriental [5, 6].

Según Von Hillebrandt [7] en el caso de la fauna bentónica de ambientes plataformales, el intercambio faunístico con ejemplares provenientes de Europa se hizo cada vez más intenso y los géneros de ammonites de la región Sudamericana se volvió cada vez más común [4]. Épocas de buen intercambio de fauna se alternaban con épocas en las que la conexión marítima era aún incipiente, probablemente debido a las fluctuaciones eustáticas mundiales del nivel del mar. Los intercambios de fauna entre Europa y América del Norte fueron particularmente notorios cuando la conexión con Europa a través del Uratlántico no existía en su totalidad [7, 8]. En Perú y Chile, la fauna de pelecípodos y gasterópodos ricos en especies se encuentra en el Hettangiano y, en el Perú, fauna de este tipo ha sido hallada en rocas del Triásico Superior [4].

El área de estudio se centra en la localidad tipo de la Formación Cachíos, ubicado en el distrito de Yura, provincia de Arequipa y corresponde geográficamente a la parte sur del Cuadrángulo de Arequipa (33s). Según Alván [20], los sedimentos de la Formación Cachíos se depositaron durante la fase de meandros tiempo después en el Calloviano Medio y algunas etapas del Titoniano, donde se produjeron fuertes pulsos de hundimiento y creación de espacio de acomodación que favorecieron la acumulación de sedimentos carbonatados marinos, incluidas las amonitas, acompañadas de una pequeña actividad volcánica.

Las contrapartes de esta unidad fueron reconocidas en Tacna por Wilson & García y las describieron como Formación Ataspaca, habiendo allí numerosos ejemplares del mismo género bajo las mismas facies [9]. Esta comparación es importante debido a que nos permite consolidar el sincronismo con las facies sedimentarias que hay tanto en Tacna y posiblemente hasta Puno [2]. El análisis de nuestro estudio presenta una comparación taxonómica de los ejemplares y una propuesta de unidad bioestratigráfica para las rocas mesozoicas del sur peruano.

2. GEOLOGÍA REGIONAL

Las rocas del Grupo Yura fueron estudiadas por primera vez por Jenks [10] y posteriormente por Benavides [11], Vargas [12], Vicente et al. [13] y Boekhout et al. [14] proveyendo refinamientos en la jerarquía estratigráfica y en la crono-estratigrafía. Jenks estimó un grosor total de 3500 m para todas estas sucesiones [10]; sin embargo, Benavides y posteriores autores reportaron solamente casi 2200 m, y la dividieron en cinco miembros tales como Formación Puente (Calloviano Inferior), Formación Cachíos (Calloviano Superior), Formación Labra (Oxfordiano-Kimmeridgiano), Formación Gramadal (Titoniano) y Formación Hualhuani (Berriasiano) [11, 12, 13, 14]. Las rocas de estas unidades litoestratigráficas se depositaron antes de la Orogenia Andina y pertenecen a la Cuenca sedimentaria mesozoica Arequipa, la cual se ubicó en el sur del Perú y se extendió posiblemente hasta Copiapó en el norte de Chile (cuenca Arequipa-Tarapacá según Vicente, y Von Hillebrandt) [15, 16, 4]. Se piensa que esta cuenca sedimentaria fue originada por una serie de esfuerzos tectónicos distensivos que sucedieron muy posiblemente desde el Triásico superior o inicios del Jurásico [17]. Tales esfuerzos habrían de definir el espacio de acomodación de los sedimentos en esta parte de la cuenca. Las rocas del Grupo Yura han sido definidas anteriormente como un conjunto de unidades fluvio-deltaicas y carbonatadas [18, 19, 16]. Sin embargo, Alván et al. demostraron que estas rocas también tendrían una influencia fluvial y marino-marginal, los cuales evolucionaron verticalmente desde ambientes sinuosos (con contundentes intermitencias marinas) a ambientes trenzados (braided) [20].

En especial, las rocas de la Formación Cachíos son de atención en este estudio debido a que se trata de una acumulación de casi 600 metros de lutitas con deformación sin-sedimentaria con recurrente contenido fosilífero de ammonites callovianos, los cuales son el motivo de este estudio.

1.1. Geología local

Los ammonites analizados en el presente estudio fueron colectados del tope de la Formación Cachíos, cerca al contacto (concordante) con la Formación Labra (Fig. 1). La Formación Cachíos está constituida por estratos gruesos de lutitas negras y gris oscuras muy fisibles intercalados con estratos delgados y medianos de areniscas gris verdosas de grano medio a fino (Fig. 2). Las capas de lutitas contienen ammonites (enteros y fragmentarios) los cuales presentan una común deformación tangencial del cuerpo que posiblemente sea por esfuerzos tectónicos. La presencia de amonoideos en esta unidad litoestratigráfica nos brinda un ambiente marino de aguas relativamente poco profundas.



Figura 1: Contacto entre la Formación Cachíos y la Formación Labra en la zona de estudio.

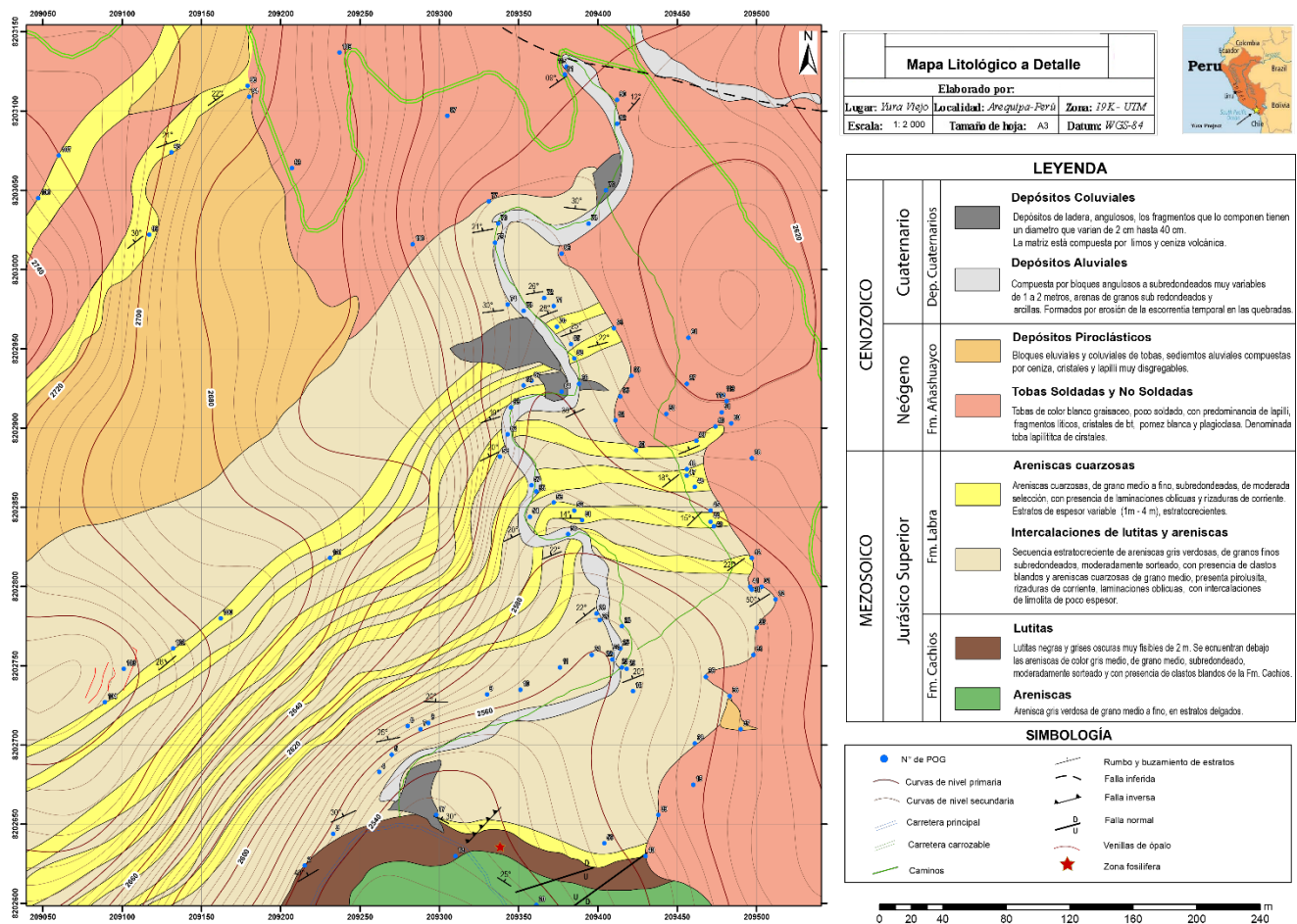


Figura 2: Mapa litológico de la zona de estudio, Quebrada Cachíos, Provincia de Arequipa. Nótese la ubicación de las muestras de ammonites, las cuales fueron colectadas cerca de fallas normales aparentemente sin-sedimentarias.

En los afloramientos de la Quebrada Cachíos predominan las lutitas; sin embargo, conforme se acerca al contacto con la Formación Labra, los estratos

de areniscas se vuelven cada vez más recurrentes, contrariamente a los estratos de lutitas. A la vez, estos afloramientos están siendo afectados por al menos dos

fallas normales sin-sedimentarias, las cuales forman un aparente “horst” (Figura 3). Según León, esta característica representa una zona tectónicamente inestable en su momento, y están íntimamente

vinculados a la ocurrencia de los fósiles marinos mencionados [18]. La mayoría de estos ejemplares tienen un buen estado de conservación, por lo que su identificación resulta más sencilla.

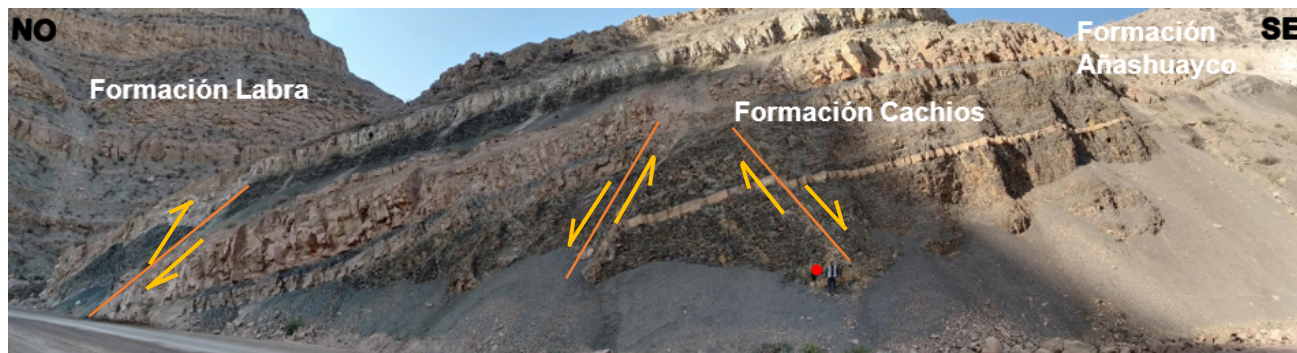


Figura 3: Vista panorámica del tope de la Formación Cachíos en su Localidad tipo (Yura, Provincia de Arequipa). Se observa una intercalación de areniscas cuarzosas y lutitas negras carbonosas, afectado por fallas normales. El punto rojo indica el lugar de colecta de ammonites. Coordenadas E209361/N8202599/2481 msnm.

3. “ESTADO DEL ARTE” EN LA ESTRATIGRAFÍA LOCAL

En el área de estudio, la Formación Cachíos está conformada por una intercalación de areniscas masivas con lutitas negras. En las lutitas se hallaron los fósiles descritos en este estudio (Fig. 4). En general, las rocas pelíticas del Jurásico Medio en Arequipa habían sido definidas anteriormente como correspondientes a ambientes de talud profundo [19, 13] y posteriormente a ambientes de llanuras de inundación con numerosas y evidentes invasiones marinas someras según Alván [20], lo cual genera un notorio contraste en los ambientes sedimentarios. Sin embargo, la teoría de un ambiente depositacional mixto o marginal (continentales y marinos someros) parece más aceptable, dado que su existencia está reflejada en la textura de las lutitas con abundantes plantas y con lentes de arenisca con facies similares a barras de acreción lateral de medios continentales sinuosos (facies definidas como *Sm* i.e. areniscas masivas y *Fl* i.e. lutitas laminadas). La inconfundible ocurrencia de fósiles marinos someros es innegable, y dando cuenta de su familia taxonómica, posiblemente corresponda a ambientes de poca profundidad marina [21], propios de ambientes de shoreface.

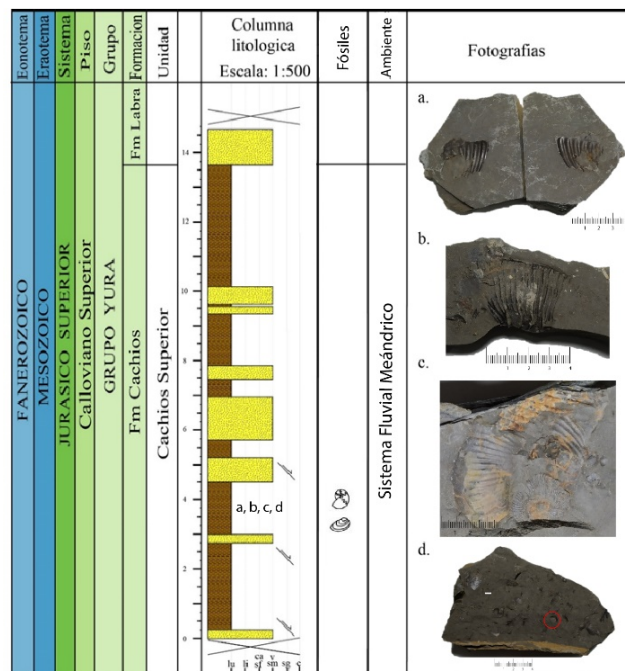


Figura 4: Columna estratigráfica de la Formación Cachíos en su localidad tipo. Los niveles fosilíferos se indican en a, b, c y d.

4. BIOESTRATIGRAFÍA PROPUESTA

Los cefalópodos fósiles reportados en la zona de estudio consisten en ammonites del género *Cadoceras* sp. (Buckman), *Reineckeia* sp (Hyatt) y *Macrocephalites* sp. (Waagen) (Fig. 5), los cuales permiten asignar contundentemente la edad Calloviano Medio. Se recolectaron cierta cantidad de muestras, sin embargo, solo las muestras que se mencionan en este estudio son las que se encuentran mejor conservadas y las que se pudieron identificar, a

comparación del resto de muestras de ammonites en las que solo se reconocieron fragmentos de las costillas. La construcción de nuestra zonación bioestratigráfica está basada sobre una colección puntual de la fauna de ammonites cortando perpendicularmente el afloramiento de la Fm. Cachíos. Esta puesta en evidencia una sucesión discontinua de asociaciones faunísticas en función de las apariciones y desapariciones de las especies. Para mantener una estabilidad nomenclatural, hemos conservado el marco general de la nomenclatura del esquema biocronológico de “Benavides” [11]: biozona de *Reineckeia* sp (Hyatt, 1900).

Los especímenes determinados como *Cadoceras* sp. (Buckman), están representados por ejemplares con nervaduras bien definidas y suavizadas de unos 2 cm, aunque no bien conservadas. Las costillas ventrales no

se pueden observar completamente en las muestras extraídas las cuales normalmente son prominentes en la cámara del cuerpo, que son un rasgo heredado de las arctocefalinas (el género *Arctocephalites* es un supuesto antepasado de *Cadoceras*) y prácticamente desconocidas en las especies callovianas [4].

Las especies de *Macrocephalites* sp. (Waagen) presentan nervaduras claramente definidas, suavemente onduladas de unos 3 cm de largo, sin embargo, no se puede observar la parte ventricular. Las costillas laterales ondeadas y finas son característicos de este género. En las especies de *Reineckeia* sp. (Hyatt) se observa claramente la zona ventricular con unas cuatro envolturas visibles. Presentan nervaduras alargadas hacia la parte superior con cierta ondulación y que se van engrosando del ombligo hasta el final de la envoltura.

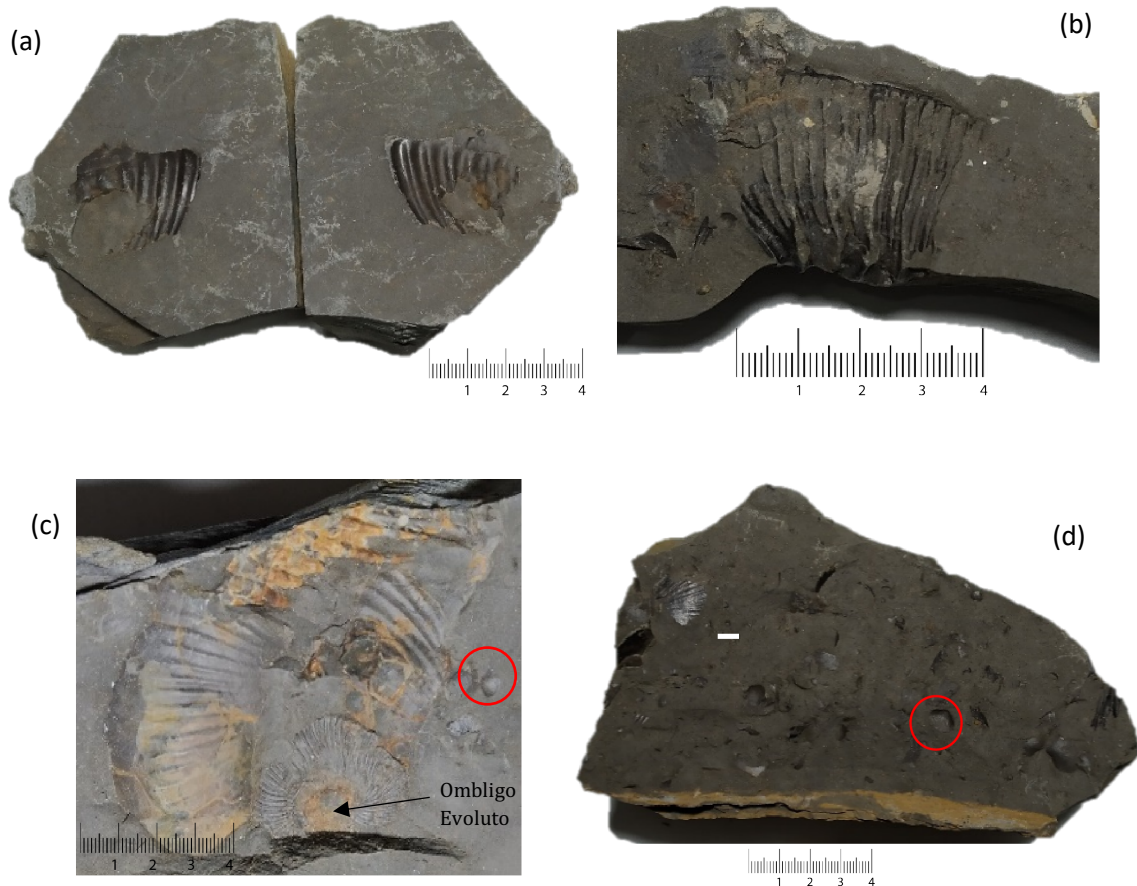


Figura 5: Fósiles colectados en el tope de la Formación Cachíos en su estratipo: (a) *Cadoceras* sp. (b) *Macrocephalites* sp. (c) *Reineckeia* sp. y *Bositra* sp. (círculo rojo) (d) *Bositra buchii*.

Además, tienen un tamaño de aproximadamente 3 cm de largo; sin embargo, ciertas partes del ammonite están erosionadas. Las costillas laterales son rectas, engrosadas y son característicos de este género. Estas afirmaciones nos conducen a formular la ocurrencia de la zona bioestratigráfica de *Reineckeia* sp (Hyatt)

los cuales estarían relacionados tafonómicamente con *Bositra buchii*, y confirmarían así el Calloviano Medio. Esta asignación bioestratigráfica se basa en la comparación con ejemplares de la misma línea de tiempo presente en la Cuenca Neuquén de Argentina y con el mar de Tethys [5, 1].

Una unidad bioestratigráfica puede basarse simplemente en la presencia de fósiles en contraste con la ausencia de su unidad bioestratigráfica en todos los fósiles o en fósiles de un determinado tipo; en un determinado intervalo estratigráfico o solo ciertos taxones en una asociación natural de fósiles; en la extensión de un taxón fósil o de varios taxones fósiles; en la frecuencia y abundancia de ejemplares fósiles [22]. Las unidades bioestratigráficas también se distinguen por presentar en conjunto cambios evolutivos importantes de su carácter en el transcurso del tiempo geológico [22].

Se ha considerado el procedimiento general para establecer la unidad bioestratigráfica de *Reineckeia* sp. Estableciendo en la Zona de Extensión de la *Reineckeia* sp. (Hyatt) que tiene un valor especial como índice de edad geológica, en este caso restringe la edad de la Formación Cachíos a Calloviano Medio. Debido a la duración restringida de la vida de este taxon a lo largo de la historia geológica, el área de extensión también puede indicar el medio ambiente correlacionando con su litología características de lutitas intercaladas con areniscas de la Formación Cachíos, edad y su ambiente de formación.

5. RESULTADOS

5.1. Sobre la taxonomía y la asignación de una biozona calloviana en Yura

Los ammonites encontrados en el tope de la Formación Cachíos corresponden a los especímenes *Cadoceras* sp. (Buckman), *Reineckeia* sp (Hyatt) y *Macrocephalites* sp. (Waagen); los cuales sugieren contundentemente una edad de Calloviano Medio (i.e. intervalo 164 -165 Ma de acuerdo a correlaciones con el estratotipo global) [23]. Los ammonites de *Reineckeia* sp. También fueron encontrados en Antofagasta, Atacama, Mendoza, Neuquen y diversas especies de *Reineckeia* sp (Hyatt), llegan más arriba que *Eurycephalites* en Chile y la República de Argentina, pero probablemente son raras sobre el calloviano medio [23].

Del mismo modo también identificaron en México la Zona de Asociación de *Reineckeia-Neuqueniceras* (Nueva), que se caracteriza por la predominancia de *Reineckeidae* y se correlaciona con la Zona *Reineckeia anceps* del Calloviano medio de Europa [24]. Esta información nos ayuda a correlacionar los ambientes similares de depósito y la fauna encontrada especialmente la *Reineckeia* sp., una especie que fue encontrada por primera vez en México [*R. (R.) anceps*]. Igualmente, *R. tuberosa*, proceden del Calloviano de la región Mixteca de Oaxaca. Del mismo modo Burckhardt indica que la distribución del género

Reineckeia en Europa se puede correlacionar con la rica fauna de *Reineckeia* de El Consuelo en Oaxaca (a pocos kilómetros de S.J. Mixtepec), y señala que en esta área existe alta probabilidad de la existencia del Calloviano medio, es decir, la Zona de *Reineckeia anceps* [25]. Esta fauna existió hacia los finales del Dominio Pacífico Oriental, donde se desarrolló rápidamente en el Bajociano tardío y se dispersó más gradualmente en el Calloviano temprano.

Los primeros representantes del género *Reineckeia*, es el subgénero *Rehmannia* (y/o *Tyrannites*), que en el Tethys se localiza en la Zona *Macrocephalus*. Esta secuencia de fósiles se correlaciona con las estudiadas en el norte de Chile y el sur de Perú. En su conclusión, indica que la aparición de *R. (Rehmannia/ Tyrannites)* en Guerrero, México, ocurre antes que en Europa; esto sugiere que el origen de *Reineckeidae* fue en el oriente del Pacífico y no en Europa [24]. En otro estudio de la misma área, Sandoval et al. Complementaron el estudio señalando una zonificación para el Batoniano-Calloviano y lo subdividen en asociaciones de ammonites [26].

En el Calloviano, la familia *Reineckeidae* comprende dos subfamilias que están separadas geográficamente, la del Pacífico, *Neuqueniceratinae* y la principalmente Tethysiana, *Reineckeinae*; esta última representa probablemente una rama derivativa lateral del tronco Pacífico que se desarrolló ahí, en el Batoniano tardío. A medida que *Reineckeidae* penetró dentro del Tethys por la ruta de América Central, al inicio del Calloviano, dio nacimiento probablemente a la subfamilia *Reineckeinae*. Durante la mayor parte del Calloviano inferior, la distribución geográfica de la subfamilia está restringida al Tethys occidental [27].

Con todos estos estudios podemos reafirmar que los ammonites encontrados en el tope de la Formación Cachíos, sugieren una edad de Calloviano Medio por la presencia de *Reineckeia* sp. y nos permite asignar una biozona calloviana en el grupo Yura, del mismo modo es muy necesario realizar más colecta de fósiles para un mejor estudio de la biozona de *Reineckeia* sp (Hyatt) propuesta en este trabajo.

5.2. Discusión: Edad y ambiente de sedimentación

Si bien, hasta el momento en las capas de la Formación Cachíos, tanto de Arequipa como de Tacna no han sido encontrados niveles con evidencias de volcanismo sin-sedimentario [28] lo cual dificulta la asignación de la edad depositacional [29], en Tacna (Palca) hay evidencias de sills andesíticos asociados a los niveles con ammonites y deformaciones sin-sedimentarias [20], cuya denudación podría conformar las edades que vemos en algunos picos de edades callovianas reportados en Salas [30].

Si consideramos los estudios realizados sobre geocronología U-Pb de zircones detríticos en las lutitas del Grupo Yura en Tacna (sección típica del Grupo Yura a 250 km de distancia, 18°S), realizado por Salas, vemos que los zircones detríticos más jóvenes de muestras equivalentes a la Formación Cachíos de Yura marcan picos próximos a $163,6 \pm 2,6$ Ma. [30]. Consideramos que estas edades geocronológicas no son contundentes estadísticamente; sin embargo, son numerosas muestras las que contienen estas edades. Estas edades calzan dentro del rango del Calloviano y correspondiente con la edad del contenido fosilífero encontrado; de manera que se sostiene una correlación entre la bioestratigrafía y cronoestratigrafía del afloramiento.

En Arequipa, Chávez, de similar modo resalta la casi nula aparición de evidencias volcánicas en los alrededores de Yura [31]. Sin embargo, la parte más basal de la sobreyacente Formación Labra contiene picos menores de edades 157 ± 6 Ma y 159 ± 2 Ma, lo cual permite restringir aún mejor la edad Calloviano para los niveles que estudiamos en este artículo.

Adicionalmente, Chávez menciona que las poblaciones de edades más abundantes en las rocas Jurásico Medio (formaciones Puente y Cachíos) en el área de Arequipa tienen picos entre 0.5 - 0.7 Ga y 0.9 - 1.3 Ga y 0.4 - 0.250 Ga [31], y estas edades son similares a las que conforman la Cordillera Oriental [32, 33, 34, 35], los cuales podrían haber aportado sedimentos a esta parte de la Cuenca Arequipa. Con lo mencionado nosotros añadimos a dichos estudios un ambiente marino somero con fuerte influencia y aporte sedimentario de ambientes fluviales.

Es muy relevante mencionar que, en la región Mixteca, al noroeste del Estado de Oaxaca, sur de México, afloran rocas del Jurásico Medio con una fauna fósil y característica litológica que consiste en su mayor parte de ammonoideos y varias facies sedimentarias compuestas principalmente por limolita y biomicrita, correspondientes a mares neríticos someros o epicontinentales con aporte de abundantes terrígenos. [24], muy similar encontrada en la Formación Cachíos del Grupo Yura. Cabe resaltar que tanto Norteamérica y América del sur estuvieron unidos en tiempos de la Pangea, por ende, es muy posible que estos tengan similares ambientes de depósito y fauna fósil.

Es fundamental proponer que estamos de acuerdo con un ambiente poco profundo en el jurásico superior. Se postula que en el Toarciaco-Jurásico inferior había una conexión con el Mar de Tethys occidental para los géneros de aguas cálidas poco profundas [4], y con ello surge la ocurrencia de fósiles de ambientes poco profundos someros como es el caso de la *Reineckeia* de zona de offshore. También se han realizado estudios

anteriormente sobre la proveniencia sedimentaria de estas formaciones. Las ideas iniciales sobre el origen de los sedimentos del Jurásico Medio (formaciones Puente y Cachíos), se interpretó como sus sedimentos provenían del arco magmático jurásico (al oeste de la cuenca) coetáneo con la sedimentación de la cuenca de Arequipa [15, 19, 18, 37].

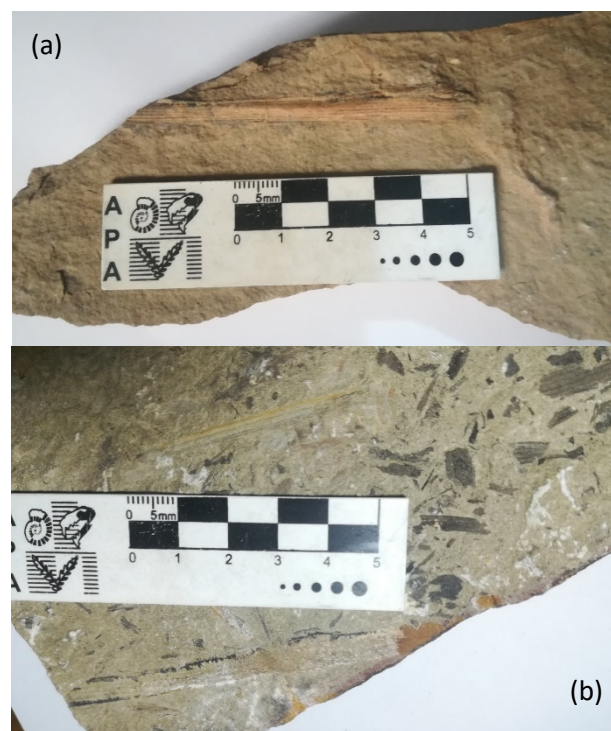


Figura 6: Restos fósiles de plantas similares al género *Otozamites* sp. colectados en la Formación Labra. (a) Resto fósil de tallo. (b) Restos fósiles de hojas y tallos de plantas.

6. CONCLUSIONES

La fauna de cefalópodos encontrados en las lutitas del tope de la Formación Cachíos corresponde a los ejemplares *Cadoceras* sp. (Buckman), *Reineckeia* sp (Hyatt) y *Macrocephalites* sp. (Waagen); los cuales están asociados a fauna de bivalvos como *Bositra buchii*. La asociación de estos ejemplares fósiles nos sugiere consistentemente el Calloviano Medio.

De acuerdo con los géneros de ammonites citados, los afloramientos de lutitas y areniscas de la Formación Cachíos observados en Arequipa se enmarcan mejor en un medio marino poco profundo en transición con un medio fluvial; el cual posiblemente corresponda a un ambiente deltaico muy somero, por presentar facies sedimentarias típicas de acreciones laterales, y con abundantes restos fósiles de plantas similares al género *Otozamites* sp. (Figura 6).

La fauna descrita en este trabajo (especialmente *Reineckeia* sp.), correspondiente a la Formación Cachíos del Grupo Yura, guarda cierta similitud con la descrita en los trabajos antes citados, proporcionando un mejor conocimiento y contribuyendo con nueva información bioestratigráfica para el Calloviano medio en el Perú.

El género de ammonite *Reineckeia* sp (Hyatt), aparece en más de un nivel estratigráfico, esto nos permite proponer la extensión de la zona bioestratigráfica de *Reineckeia* sp (Hyatt), debido a la significativa ocurrencia de esta especie marcando la edad de Calloviano. Si bien no se tiene los fósiles bien conservados, estos nos ayudan a inferir el motivo de su pobre conservación relacionando a su tipo de depósito, ambientes de formación, paleofauna y con ello proponer una nueva zona bioestratigráfica para un mejor estudio y desarrollo de la geología tanto en el Perú como en otros países.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda extraer más muestras de fósiles de ammonites en la zona de estudio, con la finalidad de encontrar ejemplares mejor preservados y hacer una descripción a detalle de los mismos, ya que en el Perú son escasos.
- Es conveniente hacer un mejor estudio de los fósiles de plantas de la Formación Labra (Fig. 6) para determinar con mayor exactitud su género y el paleoambiente.
- Es importante la realización de dataciones radiométricas a las rocas de la Formación Cachíos, para tener una edad exacta de dichos fósiles y poder complementar el presente estudio.
- Realizar una interpretación Paleoambiental y análisis de la cuenca Yura, para determinar los niveles eustáticos del nivel mar, la procedencia sedimentaria, la temperatura de las aguas y la extensión de los amonites del género *Reineckeia* sp.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Riccardi, A., 2008. El Jurásico de la Argentina y sus Amonites. Revista de la Asociación Geológica Argentina, v. 63 (4), p. 625-643.
- [2] Westermann et al., 1980. The Upper Bajocian ammonite *Strenoceras* in Chile: first circum-Pacific record of the Subfurcatum Zone - Newsl. Stratigr.; 9:19-29.
- [3] Prinz, P. (1985). Stratigraphie und Ammonitenfauna der Pucará-Gruppe (Obertrias-Unterjura) von Nord-Peru. Palaeontographica, Abt, N° 188, (4-6), p. 153-197.
- [4] Von Hillebrandt, A., 1987. Liassic ammonite zones of South America and correlations with other provinces." Circum-Pacific Jurassic Contribution to I.G.C.P. # 171, p. 111-157.
- [5] Westermann, G.E.G., Riccardi, A., 1985. Middle Jurassic ammonite evolution in the Andean Province and Emigration to Tethys." A contribution to Project #171: Circum-Pacific Jurassic Sedimentary and evolutionary cycles, p. 6-34.
- [6] Riccardi, A.C. 1991a. Jurassic and Cretaceous marine connections between the southeast Pacific and Tethys. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 87: 155-189.
- [7] Hillebrandt, A., Von (1978b). *Pseudohastigerina sphaeroidalis* nom. nov. for *Pseudohastigerina globulosa*.
- [8] Geyer, O. (1979). Ammoniten aus dem Tienen Unterjura von Nord-Peru. Paläont. Z., Vol. 53, 3/4; p. 198-213.
- [9] Wilson, J., García, W., 1962. Geología de los Cuadrángulos de Pachía y Palca (Hojas 36-v y 36-x). Dirección de Geología Regional, INGEMMET, Lima, Perú. Boletín N° 4, Serie A: Comisión de la Carta Geológica Nacional, 82.
- [10] Jenks, W., 1948. La geología de la región Arequipa y sus alrededores. Informaciones y Memorias de la Sociedad de Ingenieros del Perú, v. 46, Boletín N° 9; 104.
- [11] Benavides, V., 1962. Estratigrafía Pre-terciaria de la región de Arequipa. In: Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, II Congreso Nacional de Geología, Tomo N° 38, 5-63.
- [12] Vargas, L. (1970). Geología del cuadrángulo de Arequipa (Hoja 33-s). Servicio de Geología y Minería de Perú (actualmente INGEMMET), Serie A: Carta Geológica Nacional, N° 24; 64 p.
- [13] Vicente, J-C, Beaudoin, B., Chavez, A., and León, L., 1982. La Cuenca de Arequipa (Sur Perú) durante el Jurásico-Cretácico inferior. 5° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas I: 121-153, Buenos Aires.
- [14] Boekhout, F., Sempere, T., Spikings, R., Schaltegger, U., 2013. Late Paleozoic to Jurassic chronostratigraphy of coastal southern Peru: Temporal evolution of sedimentation along an active margin. Journal of South American Earth Sciences, v. 47, 179-200.
- [15] Vicente, J.C., 1981. Elementos de la estratigrafía Mesozoica sur peruano. Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico. In: Volkheimer, I., Musacchio,

- A. (Eds.), Cuencas sedimentarias del jurásico y cretácico de América del sur, v. 1, 319–351.
- [16] Vicente, J.C., 2006. Dynamic paleogeography of the Jurassic Andean basin: Pattern of regression and general considerations on main features. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, v. 61, p. 408-437.
- [17] Sempere, T., Carlier, G., Soler, P., Fornari, M., Carlotto, V., Jacay, J., Jiménez, N. (2002). Late Permian-Middle Jurassic lithospheric thinning in Peru and Bolivia, and its bearing on Andean-age tectonics. *Tectonophysics*, 345(1–4), 153–181.
- [18] León, I., 1981. Antecedentes sedimentológicos sobre el Jurásico Cretácico inferior del sector de Yura (Departamento de Arequipa). Bachelor thesis. Universidad Nacional San Agustín, Perú, pp. 92.
- [19] Chávez, A., 1982. Estratigrafía y Tectónica del Sector de Chapi. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. Tesis de Ingeniero Geólogo, 140 p.
- [20] Alván, A.; Jacay, J.; Caracciolo, L.; Sánchez, E. & Trinidad, I. (2018) - Análisis de facies sedimentarias de las rocas clásticas del Mesozoico en el Sur de Perú (Tacna, 18 ° S): Hacia una Redefinición Paleoambiental y Reorganización Estratigráfica. *Revista de Ciencias de la Tierra de América del Sur*, 84: 399–421. Doi: 10.1016 / j.jsames.2018.04.014.
- [21] Westermann, G.E.G., 1996. Chapter 16. Ammonoid life and habitat. *Ammonoid Paleobiology*. Volume 13, 607-707.
- [22] Hedberg, H., 1980. Guía Estratigráfica Internacional. Guía para la Clasificación, Terminología y Procedimientos Estratigráficos. Subcomisión Internacional de Clasificación Estratigráfica de la Comisión Estratigráfica de la UICG. Editorial Reverte. Barcelona, España, 122 p.
- [23] Westermann (1965) Sucesión de Amonites del Jurásico Medio en Antofagasta, Atacama, Mendoza y Neuquen. Pág. 65-73. Tomo XXII.
- [24] Raúl Sabino Carrasco-Ramírez, 2003. Los ammonites del Caloviano de la región Mixteca, Oaxaca, México. *Boletín De La Sociedad Geológica Mexicana*. Tomo Lvi, Núm. 1. 42-55 p.
- [25] Burckhardt, C., 1927, Cefalópodos del Jurásico Medio de Oaxaca y Guerrero: *Boletín del Instituto Geológico de México*, 47, 108 p.
- [26] Sandoval, G.J., Westermann, G.E.G., Marshall, M.C., 1990, Ammonite fauna stratigraphy and ecology of the Bathonian–Callovian (Jurassic) Tecocoyunca Group, south México: *Palaeontographica*, Abteilung A, *Palaeozoologie–Stratigraphie*, 210, 93-149.
- [27] Cariou, E., Krishna, J., 1988, The Tethyan *Reineckeinae* of Kachchh and Jaisalmer (west India); systematic, biostratigraphic and biogeographic implications: *Palaeontographica*, Abteilung A, *Palaeozoologie–Stratigraphie*, 203, 149-170.
- [28] Wotzlaw, J.F., 2009. Jurassic to Paleogene tectonomagmatic evolution of northernmost Chile: Constraints from detrital zircon U-Pb geochronology and heavy mineral provenance. Universidad de Göttingen, Alemania. Tesis de doctorado, 132 p.
- [29] Bernet, M., Garver, J.I., 2005. Fission-track analysis of detrital zircon. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, v. 58 (1), 204-237 p.
- [30] Salas, Á., 2018. Geocronología U-Pb de zircones detríticos del Grupo Yura en Tacna. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Perú. Tesis de Ingeniero Geólogo, 86 p.
- [31] Chávez, C., 2019. Proveniencia sedimentar dos sedimentos jurásicos e cretáceos da bacia de Arequipa - Tarapacá (sul do Perú): Implicacoes paleogeográficas e geodinámicas. Universidad de Brasilia, Brasil. Tesis de posgrado, 120 p.
- [32] Pérez, N. D., & Horton, B. K. (2014). Oligocene Miocene deformational and depositional history of the Andean hinterland basin in the northern altiplano Plateau, Southern Peru. *Tectonics*, 33(9), 1819–1847.
- [33] Reitsma, M., Schaltegger, U., Spikings, R., Winkler, W., Carlotto, V., 2010. Constraining the age of the Mitu Group, South-east Peru: U-Pb ages of detrital and igneous zircons. EGU General Assembly 2010. Viena, Austria, *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 12, EGU2010-0, 1 p.
- [34] Miskovic, A., Spikings, R.A., Chew, D.M., Košler, J., Ulianov, A., Schaltegger, U., 2009. Tectonomagmatic evolution of Western Amazonia: Geochemical characterization and zircon U-Pb geochronologic constrains from the Peruvian Eastern Cordilleran granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, v. 121, p. 1298-1324.
- [35] Chew, D. M., Schaltegger, U., Kosler, J., Whitehouse, M.J., Gutjahr, M., Spikings, R.A., Miskovic, A., 2007. U-Pb geochronologic evidence for the evolution of the Gondwanan margin of the north-central Andes. *Geological Society of America Bulletin*, v. 119/5-6, p. 697-711.
- [36] Chew, D. M., Magna, T., Kirkland, C.L., Miskovic, A., Cardona, A., Spikings, R., Schaltegger, U., 2008. Detrital zircon fingerprint of the Proto-Andes: Evidence for a Neoproterozoic active margin? *Precambrian Research*, v. 167, p. 186-200.

- [37] Vicente, J.C., 2005. Dynamic paleogeography of the Jurassic Andean basin: pattern of transgression and localization of main straits through the magmatic arc." *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, v. 60, p. 221-250.