

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)

NEW CONTRIBUTIONS ON SEDIMENTOLOGY AND PALEONTOLOGY OF CHOCOLATE AND SOCOSANI FORMATIONS IN YURA DISTRICT, AREQUIPA (SOUTHERN PERU)

Harmuth Acosta¹, Aldo Alván¹, Axel von Hillebrandt², Wolfgang Riegraf³ y Martín Oviedo¹

RESUMEN

La evolución sedimentaria se interpreta a partir de nuevos registros sedimentológicos de las formaciones Chocolate (Sinemuriano-Pliensbachiano), Socosani (Toarciario-Bajociano) y parte inferior de la Formación Puente (Bathoniano), y se precisa la edad mediante nuevos hallazgos de taxones de cefalópodos. La Formación Chocolate del cerro Yanacoto, en Yura, está compuesta de conglomerados y areniscas, y se ha diferenciado tres unidades, cuyas facies retrogradantes, son el resultado de la interacción de factores tectónicos que generan relieves y el aumento del nivel del mar, documentado por los ammonites *Arietites* s.l., *Arnioceras* sp., *Arietitidae* ind. y *Coroniceras* sp. que marcan la trasgresión marina del Sinemuriano. La Formación Socosani es una unidad calcárea de plataforma cuya batimetría evoluciona a medios relativamente profundos y luego rápidamente a depósitos carbonatados someros que tienen grietas de desecación. En el ambiente nerítico de la parte inferior de la Formación Socosani, se han desarrollado los coleoideos *Atractites alpinus* (v. GÜMBEL, 1861) y *Atractites* sp. en el Toarciario inferior; los ammonites *Hammatoceras* sp. y *Hammatoceratidae* ind. en el Toarciario superior, así como un arcosaurio que es la primera evidencia de reptiles fósiles de esa época en el Perú. Las calizas con grietas de desecación de la parte superior del Socosani, dan paso a depósitos fluviales y deltaicos de la parte inferior de la Formación Puente, la que tradicionalmente ha sido conocida como enteramente turbidítica. Por otro lado, se plantea como hipótesis que las calizas definidas como Formación Chocolate en la cantera del mismo nombre, corresponden a la Formación Socosani.

Palabras clave: Chocolate, Socosani, Puente, sedimentología, Sinemuriano, Toarciario, Arequipa.

ABSTRACT

Sedimentary evolution is interpreted, based on new sedimentological records of Chocolate Formation (Sinemurian-Pliensbachian), Socosani Formation (Toarcian-Bajocian) and the bottom part of the Puente Formation (Bathonian), and the age is precised by new discoveries of cephalopods taxas. Chocolate Formation from Yanacoto hill in Yura, consists of conglomerates and sandstones, which are differentiated in 3 distinct units, whose retrograding facies result from the interaction of tectonic factors that generate reliefs and sea level rising, as documented by the ammonites *Arietites* s.l., *Arnioceras* sp., *Arietitidae* ind. and *Coroniceras* sp., fossils that mark the sinemurian marine transgression. Socosani Formation is a limestone shelf unit which bathymetry evolves to relatively deep marine environment and then, evolves to shallow carbonate deposits in short time, with mud cracks evidences. In the neritic environment of the

¹Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, INGEMMET, Av. Canadá 1470 San Borja, Lima, hacosta@ingemmet.gob.pe

²Technische Universität Berlin, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Sekr. EB 10, Ernst-Reuter-Platz 1, D-10587, Germany

³Brüggefeldweg 31, D-48161, Münster, Germany

lower part of Socosani Formation, coleoids such as *Atractites alpinus* (v. GÜMBEL, 1861) and *Atractites* sp. have been developed in Lower Toarcian; also the ammonites *Hammatoceras* sp. and *Hammatoceratidae* ind. from Upper Toarcian times, and an arcosaurio, which is the first fossil evidence of reptiles of that age in Peru. Limestones with mud cracks in the upper part of Socosani Formation are followed by fluvial and deltaic deposits at the bottom part of Puente Formation, which has traditionally been known as turbidites entirely. On the other hand, is approached as hypothesis that limestones defined as being part of Chocolate Formation in Chocolate quarry, are, in fact, part of the Socosani Formation.

Keywords: Chocolate, Socosani, Puente, sedimentology, Sinemurian, Toarcian, Arequipa.

INTRODUCCIÓN

Los primeros estudios geológicos de la estratigrafía mesozoica de la cuenca Arequipa fueron realizados por Jenks (1948), quien define a la Formación Chocolate en razón de sus afloramientos en la cantera Chocolate y el cerro Yanacoto, ubicados al sur y sureste de la localidad de Yura, a 25 km al noroeste de Arequipa (Fig. 1). Los fósiles encontrados por Jenks (1948) y estudiados por Wells (1953) determinaron una edad jurásica inferior. Vargas (1970) reporta en el cerro Yanacoto ammonites del género *Arnioceras* del Sinemuriano. Vicente (1981) toma como referencia los trabajos de Jenks (1948), Wells (1953), Benavides (1962) y Vargas (1970) para referir la edad de la Formación Chocolate, y sus propios hallazgos de *Megarietites* y *Arnioceras*, determinados por Hillebrandt, hacen que se considere la edad Sinemuriana en la parte superior de la Formación Chocolate. Jenks (1948) describió también una sucesión de estratos carbonatados que separan a la Formación Chocolate del Grupo Yura y que posteriormente Benavides (1962) estudió y denominó Formación Socosani. En la base de esta unidad encontró numerosos fósiles (*Phymatoceras*, *Dactylioceras*, *Zugodactylites*, *Graphoceras* y *Sonninia*), tanto en el cerro Socosani, junto con reportes de *Plicatostylus* sp. (Hillebrandt, 1981), y así como también en los alrededores de la hidroeléctrica de Charcani. En el mismo sitio, Hillebrandt (1987) estableció la zona de *Dactylioceras hoelderi* del Toarciano inferior, y en el río Chili a la zona de *Harpoceras* cf. *chrysanthemum* de la parte inferior del Toarciano medio, y la subzona de *Peronoceras moerickei* de la parte superior del Toarciano medio, gracias al hallazgo de *Peronoceras* cf. *bolitoense*.

Se ha elaborado un mapa geológico detallado del cerro Yanacoto, (Fig. 2) y también la sección estructural respectiva (Fig. 3) que muestra las estructuras que afectan las rocas de las formaciones Chocolate, Socosani y la parte basal de la Formación Puente. La cartografía muestra a la Formación

Chocolate como sedimentaria (Acosta et al., 2008), y la discordancia erosional entre las formaciones Chocolate y Socosani. Asimismo, en la quebrada El Burro se aprecia la discordancia entre las formaciones Socosani y Puente.

Las determinaciones paleontológicas hechas a los fósiles hallados recientemente, sumadas a las determinaciones anteriormente realizadas, apoyan la definición cronoestratigráfica de las unidades descritas, las que muestran continuidad en la sedimentación entre el Jurásico inferior y medio, con cambios importantes y progresivos en los ambientes sedimentarios entre las unidades estratigráficas en esta parte de la cuenca.

ESTRATIGRAFÍA

A partir de las columnas estratigráficas levantadas en el cerro Yanacoto y la quebrada El Burro, se hicieron correlaciones estratigráficas, y se compuso una columna generalizada para la zona de Yura, la cual incluye a las formaciones Chocolate, Socosani y la parte inferior de la Formación Puente (Fig. 4).

Formación Chocolate

La Formación Chocolate (Jenks, 1948) es la unidad más antigua de la cuenca Arequipa. Los afloramientos más conocidos y mejor expuestos se encuentran en el cerro Yanacoto (Figs. 2, 3 y 5). Allí se levantó una columna estratigráfica cuya secuencia del límite inferior se encuentra despegada por una falla inversa. Se trata principalmente de 290 m de conglomerados intercalados con niveles de areniscas arcósicas, encontrándose ocasionales y muy delgados niveles de areniscas calcáreas y lutitas de origen marino con contenido fosilífero importante. Esta formación se ha dividido en tres unidades.

El registro de ammonites (Vargas, 1970; Vicente, 1981; Alván et al., 2008) señala la presencia del Sinemuriano, pero no se descarta la existencia del Pliensbachiano.

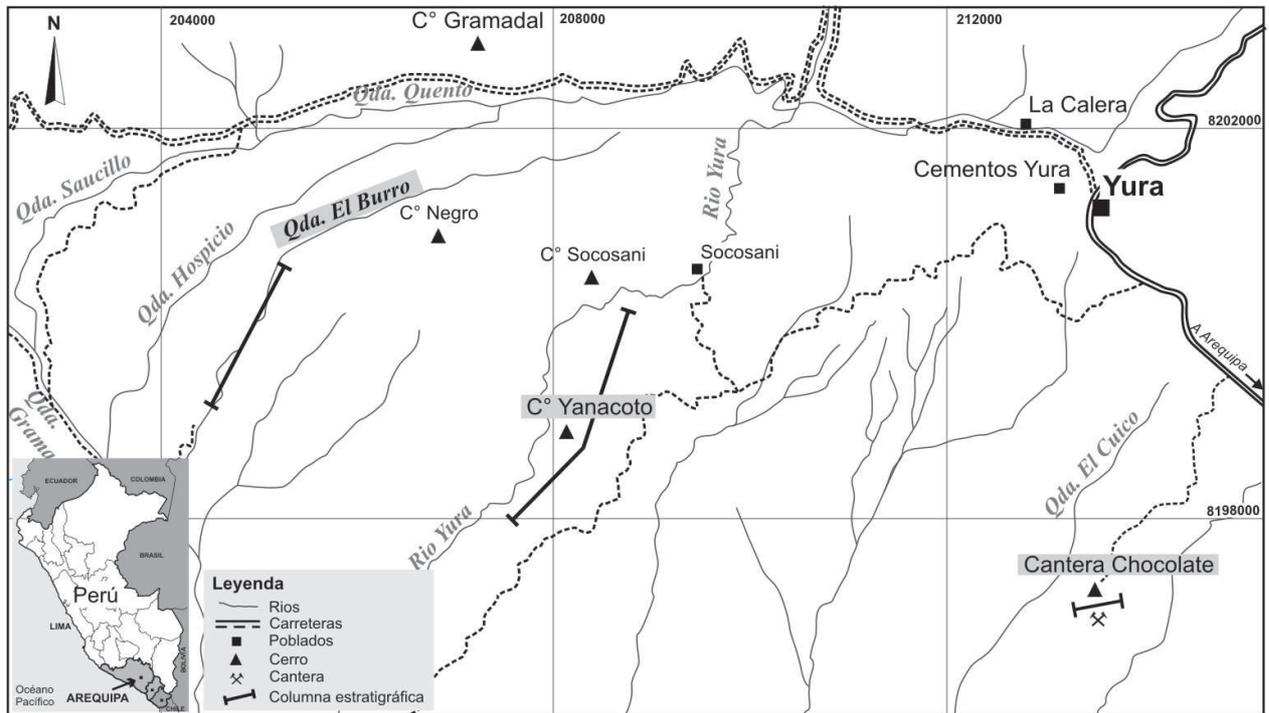


Figura 1. Ubicación del cerro Yanacoto, quebrada El Burro y cantera Chocolate, en la localidad de Yura, Arequipa. Las líneas indican la posición de las columnas estratigráficas. UTM, WGS 84

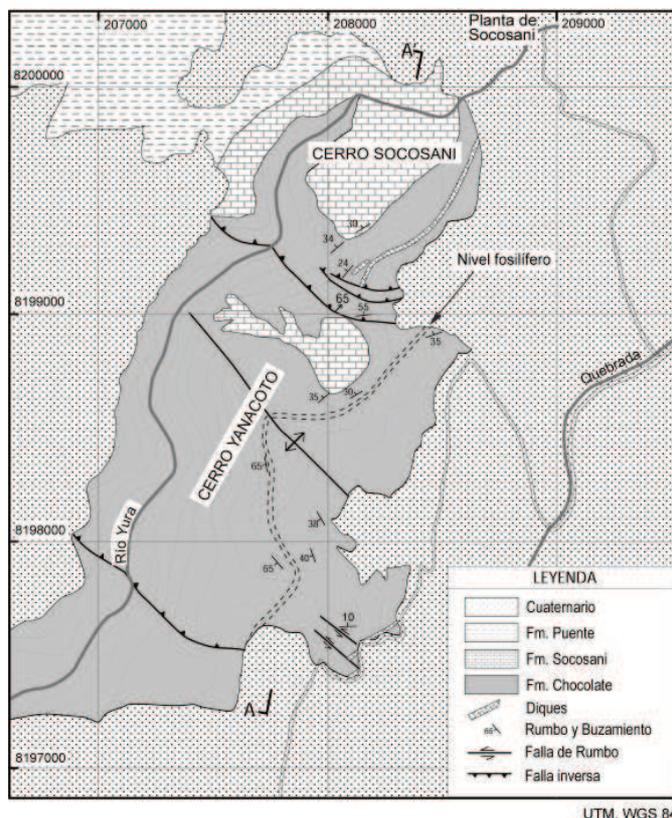


Figura 2.- Mapa geológico del cerro Yanacoto. UTM, WGS 84

Unidad 1 (82 m)

En esta unidad se han diferenciado dos secuencias distintivas, una inferior de conglomerados y una superior de areniscas. En la secuencia inferior, los conglomerados son clastos soportados, de naturaleza volcánica, con diámetros que oscilan entre 3 y 0,5 cm, subredondeados, mal seleccionados, imbricados al sureste, envueltos en una matriz arenosa arcósica de grano grueso a medio y forma subangulosa. Los niveles son granodecrecientes y estratodecrecientes con espesores que varían de 2 a 0,10 m.

La secuencia superior corresponde a intercalaciones de areniscas arcósicas de grano grueso, que pasan progresivamente a niveles más delgados de areniscas de grano medio y fino. La coloración general de la mayoría de los sedimentos es marrón rojizo a violáceo, distinguiéndose una tonalidad verdusca en algunos metros al tope de la unidad. En algunos niveles de la parte inferior de la secuencia se observan canales conglomerádicos a manera de lentes sedimentarios, con clastos angulosos

de roca volcánica en abundante matriz arcósica de grano fino. La parte superior presenta laminaciones paralelas (Fig. 5a), rizaduras y laminaciones oblicuas curvas típicas de medios fluviales, con canales pequeños de conglomerados y clastos aislados de roca volcánica con diámetros entre 2 a 0,5 cm, redondeados y distribuidos en todos los estratos de areniscas.

Debido al escaso retrabajamiento de los clastos, los depósitos sugieren ambientes de depositación de ríos conglomerádicos proximales. Estos ríos tenían condiciones de alta pendiente y energía, capaces de transportar material detrítico de regular tamaño. Las partes media y superior corresponderían a ríos arenosos también proximales pero con mayor transporte, que generaron laminaciones paralelas al límite de los bancos, con pequeños intervalos de sedimentación tranquila. Por otro lado, la presencia de clastos aislados de regular tamaño puede indicar un régimen hidráulico elevado. En conclusión, la sedimentación gruesa de la parte inferior de la unidad indica, por un lado, la existencia de relieves que fueron erosionados, y por otro lado, la retrogradación de los sistemas fluviales.

Unidad 2 (90 m)

La base de la unidad es erosiva y corresponde a canales conglomerádicos con clastos de roca volcánica en una matriz arenosa y limosa. Los clastos poseen forma subangulosa a subredondeada, los diámetros son variables entre 2 y 0,2 cm y excepcionalmente 10 cm, son clastos soportados e imbricados, indicando direcciones de corriente hacia el SSE (Fig. 5b). Las secuencias sedimentarias tienen entre 2 y 1 m de espesor, y son grano decreciente.

La parte media tiene estratos potentes de arcosas de grano grueso, de coloración violácea a marrón rojiza. La matriz limolítica es abundante y también de coloración violácea. Presenta canales conglomerádicos con clastos de roca volcánica de forma subangulosa, que alcanzan diámetros de hasta 3 cm y se encuentran distribuidos en forma aislada en los bancos. También se observan clastos blandos de color violáceo. El aspecto de los bancos de arenisca es masivo en la base y laminado en el tope.

La parte superior está compuesta por delgadas capas de limolitas calcáreas que alcanzan algunos metros de espesor y están intercaladas con capas de areniscas de grano medio a fino, son cuarzo-

feldespáticas, con esporádicos clastos blandos y laminaciones horizontales (Fig. 5c). Las areniscas se hallan intercaladas a su vez con niveles limolíticos muy laminados, con contenido calcáreo y fosilífero de origen marino. Las areniscas tienen laminaciones horizontales y otras figuras sedimentarias como tempestitas, laminaciones convolutas y slumps, además de fallas normales sinsedimentarias centimétricas (Fig. 5d). Algunos niveles delgados de limolitas de color violáceo, presentan clastos de cenizas volcánicas y también canales rellenos de este material (Fig. 5e).

La parte superior de la unidad recobra relevancia en las limolitas calcáreas por la presencia de los ammonites *Arietites* s.l. (= sensu lato; latin), *Arnioceras* sp. (Fig. 9-1) y *Arietitidae* ind. (Alván et al., 2009) sepultados en posición normal y separados por una delgada capa de limolitas, existiendo sobre estos otro grupo de ammonites, tales como *Coroniceras* sp. (Fig. 9-2), *Arnioceras* sp. (Fig. 9-3) y *Arietitidae* ind. Esta agrupación fosilífera, indica que los sedimentos de la parte superior de la Unidad 2 de la Formación Chocolate, son del Sinemuriano inferior terminal (Alván et al., 2009). Este nivel fue reportado anteriormente por Vargas (1970).

En cuanto al ambiente de depositación, los depósitos sugieren un rejuvenecimiento de la zona de aportes, que estarían situados al NNO, así como una nueva retrogradación de medios fluviales proximales. La parte superior de la unidad se interpreta como un cambio sustancial en la sedimentación debido a la influencia marina en los medios fluviales, lo que puede ser explicado como un aumento del nivel eustático debido a la transgresión importante del Sinemuriano inferior, por la actividad tectónica sinsedimentaria que seguramente crea grabenes y horst provocando un cambio litológico y de ambientes sedimentarios a cortas distancias. Esto explica también la presencia de ammonites en las limolitas intercaladas con areniscas de ríos o pequeños deltas que se depositan en zonas de playa o mar somero. En este contexto sedimentario quedan también registrados productos volcánicos provenientes del arco volcánico, situado más al oeste (Soler, 1991).

Unidad 3 (118 m)

Se inicia con depósitos conglomerádicos que erosionan la parte superior marina del tope de la Unidad 2. Los conglomerados se presentan en

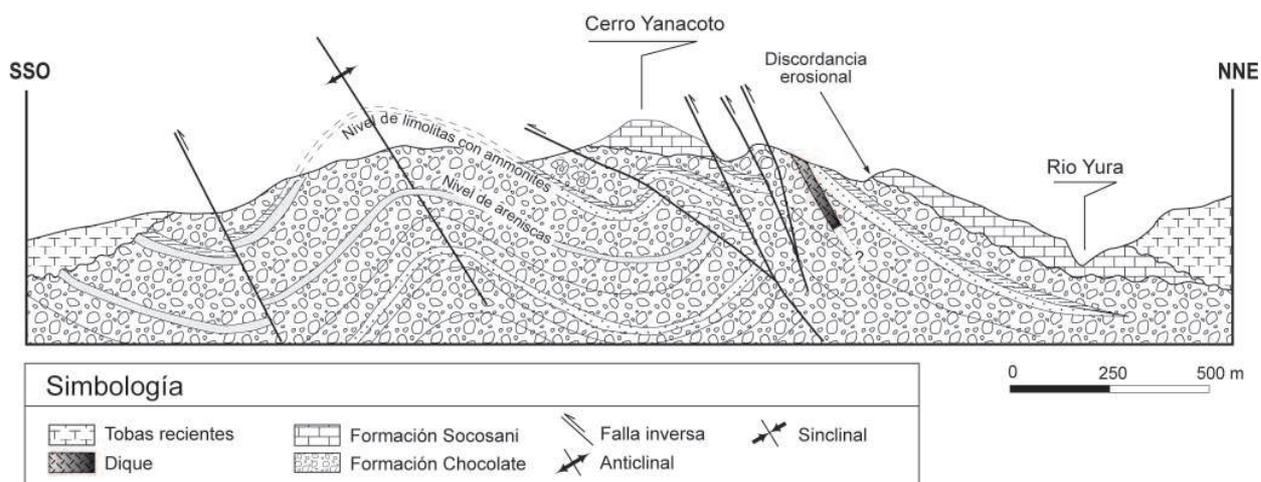


Figura 3. Corte estructural realizado en el cerro Yanacoto.

estratos de 3 a 2 m, con clastos de roca volcánica, subredondeados a redondeados, con diámetro máximo de 5 cm, resaltando el orden espacial y la buena selección de los clastos, además de presentarse de manera grano decreciente. La matriz que engloba a los clastos es limolítica, de color gris oscuro a marrón rojizo. Estos conglomerados se han depositado en ríos proximales de alta energía y cercanos a la línea de costa, donde se distingue un mejor retrabajamiento y mayor transporte de clastos, que irrumpen sobre los sedimentos marinos de la Unidad 2.

En la parte media de la unidad, priman los estratos potentes de areniscas en bancos de 5 a 4 m, de grano grueso, arcósico, con granos subredondeados y de color marrón rojizo, con laminaciones oblicuas curvas de canal y canales de conglomerados de 1 a 0.5 m de espesor, que pasan progresivamente a areniscas arcósicas de grano medio a grueso. Los conglomerados tienen clastos de roca volcánica y se presentan de forma subredondeada a redondeada, en matriz arenosa de color violáceo. Aproximadamente a los 230 m de la columna estratigráfica, se observan delgados niveles de areniscas cuarzo-feldespáticas de grano fino y capas de limoarcillitas calcáreas de color rojizo a violáceo con evidencia de bioturbación, que posiblemente indican un aumento en el nivel de mar.

La parte superior de la unidad está caracterizada por una intercalación de conglomerados con canales amplios y areniscas arcósicas. Los conglomerados están compuestos de clastos subredondeados de rocas volcánicas en abundante matriz arenosa cuarzo-feldespática. Los clastos son angulosos

y subredondeados con diámetro máximo de 4 cm. Las capas de arcosas de grano medio a fino, se caracterizan por su coloración marrón rojiza, presentan granos subredondeados, mala selección y escasa matriz limolítica. La unidad se termina con una discordancia erosional bajo los conglomerados con ammonites de la parte basal de la Formación Socosani. Los conglomerados y las areniscas de la parte superior de la Unidad 3 se han depositado en ríos fluviales de canales entrelazados cercanos a la línea de costa. La evolución de toda la unidad también corresponde a una retrogradación de los medios fluviales hasta alcanzar la línea de costa y pasar a niveles marinos de la base de la Formación Socosani.

Formación Socosani

La Formación Socosani (Jenks, 1948; Benavides, 1962) del Toarciano-Bajociano, está compuesta principalmente por calizas y aflora ampliamente al norte de Arequipa. En el cerro Yanacoto se observa claramente el cambio entre las formaciones Chocolate y Socosani, notándose una diferencia en la litología y el medio de sedimentación, que corresponde a una discordancia erosional (Jenks, 1948; Benavides, 1963; Vargas, 1970; León, 1981; Vicente, 1981; Acosta et al., 2008). Sin embargo, esta interrupción en la depositación no marca un lapso considerable de tiempo, ya que la evolución sedimentaria parece ser continua entre estas dos formaciones. Por otro lado, en la quebrada El Burro (Fig. 6) se observa calizas con grietas de desecación de la Formación Socosani, una fuerte discordancia y encima calcarenitas y conglomerados continentales con clastos de calizas asignadas en el presente

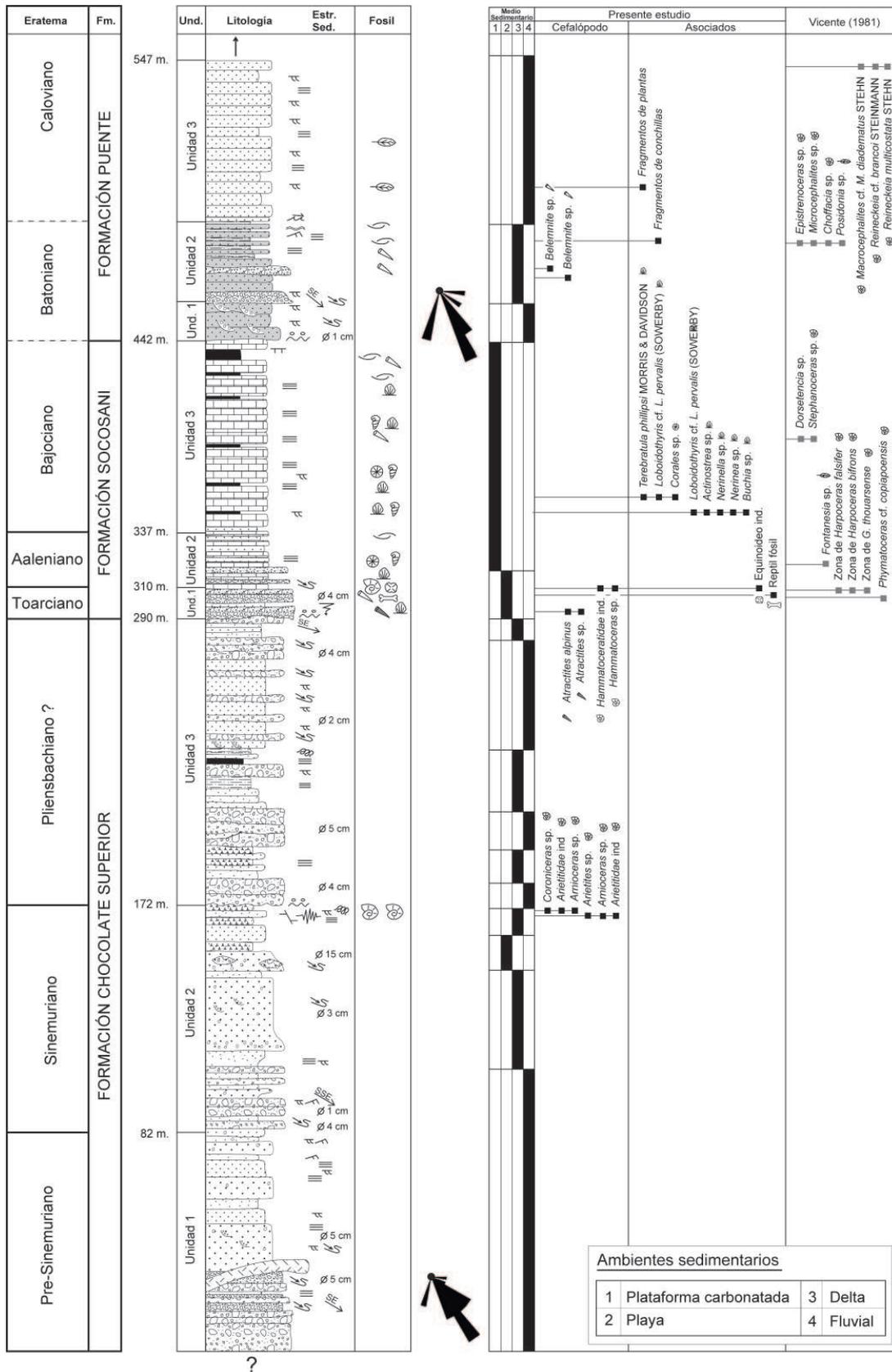


Figura 4. Columna estratigráfica generalizada para las formaciones Chocolate y Socosani, en la zona de Yura, en base a las columnas estratigráficas del cerro Yanacoto y la quebrada El Burro.

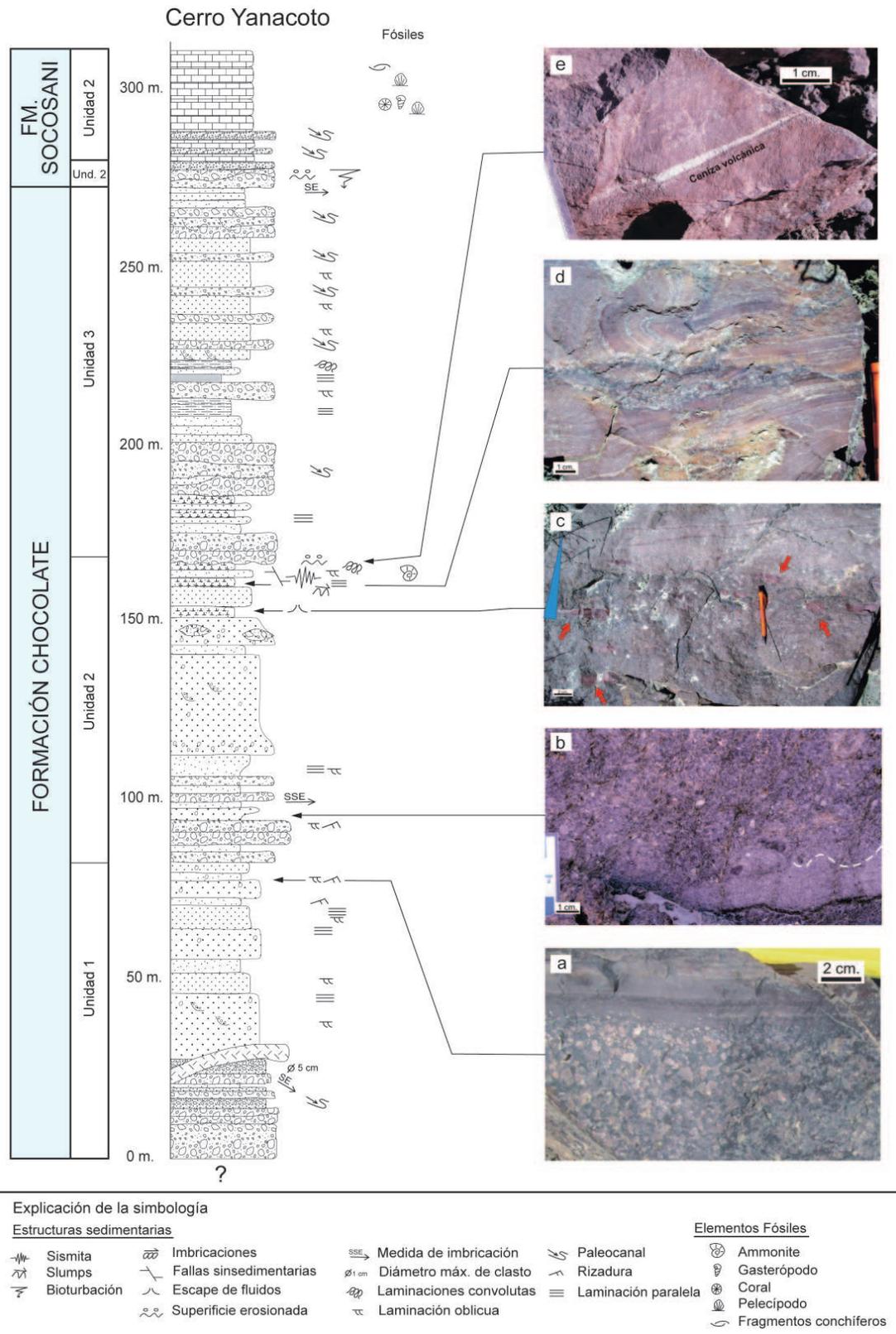


Figura 5. Columna estratigráfica del cerro Yanacoto. Figura 5a: conglomerados con clastos de roca volcánica que pasan súbitamente a areniscas de grano medio a fino con laminación horizontal. Figura 5b: conglomerados con clastos de roca volcánica, erosionando areniscas arcóscicas. Figura 5c: areniscas de grano grueso con clastos blandos. Figura 5d: muestra sedimentación fina deformada (slump), se evidencia actividad tectónica. Figura 5e: limolitas a areniscas muy finas conteniendo canales delgados de cenizas volcánicas.

trabajo a la parte basal de la Formación Puente.

La Formación Socosani ha sido dividida en tres unidades.

Unidad 1 (10 m)

En Yanacoto (Fig. 2) la unidad tiene aspecto masivo, está conformada por conglomerados con clastos de rocas volcánicas y sedimentarias de color pardo violáceo, negro y violáceo. Ocasionalmente, se presentan clastos de tobas cuyos diámetros no exceden los 4 cm, son matriz soportado, con abundancia de arcosas, de color verde y violáceo, calcárea, donde se observa bioturbación intensa.

En la base del afloramiento de la quebrada El Burro, ubicada a menos de 5 km al noroeste del cerro Yanacoto (Fig. 6), se puede apreciar una intercalación de arcosas de color violáceo y verde, de grano grueso, y presencia de numerosos niveles fosilíferos conformados por bivalvos, gasterópodos y braquiópodos. Este nivel correspondería a la parte superior de la Formación Chocolate (Fig 4), marcado por una discordancia erosional y seguido de conglomerados con fósiles que se atribuyen a la Formación Socosani.

La Unidad 1 de la quebrada El Burro está compuesta por 10 m de conglomerados, con clastos de rocas volcánicas, areniscas y lutitas, en matriz soportada (debris flow) de limolita de color verde. Los clastos no presentan ningún ordenamiento y además se observa la intensa actividad biótica. En los conglomerados se han encontrado cefalópodos (Alván et al., 2009). Se trata de los coleoideos *Atractites alpinus* (v. GÜMBEL, 1861) (Fig. 9-4a) y *Atractites* sp. (Fig. 9-4b), fósiles de amplia distribución mundial desde el Carbonífero inferior hasta el Toarciano inferior, siendo Sudamérica el lugar de sus últimas ocurrencias. En los niveles superiores de esta sucesión, destaca particularmente la presencia de abundantes ammonites en regular estado de conservación y de buen tamaño, dentro de los conglomerados a manera de casts (Fig. 6a). Los ammonites fueron hallados en asociación con pelecípodos de costillaje fino, belemnites y equinoideos (Fig. 9-6), especímenes que no muestran alguna evidencia de roturas o fracturas por transporte. Asimismo, se hallaron escasos corales coloniales. Los estudios iniciales realizados a los ammonites reportados en este nivel describen a *Hammatoceras* sp. (Fig. 9-7a,b) y *Hammatoceratidae* ind. (Fig. 9-8a,b) (Alván et al., 2009) como indicadores del

Toarciano superior. En este nivel fosilífero se ha encontrado un vertebrado fósil, representado por una mandíbula con dentadura tecodonta, que podría tratarse de un cocodrilo longirostro, arcosaurio (Martínez, comunicación escrita) (Fig. 9-5).

Estos depósitos indican la sedimentación en un ambiente mixto de ríos conglomerádicos que llegan al mar como pequeños deltas o incluso en forma algo violenta como los debris flow que rellenan los paleorelieves. Estos ambientes se hacen netamente marinos con una tasa de sedimentación muy lenta, y el desarrollo de abundante bioturbación, además de arrecifes de corales que indican climas cálidos con aguas transparentes.

Unidad 2 (27 m)

En el cerro Yanacoto, se observan sobre los conglomerados de tonalidad verdosa intercalaciones de conglomerados y calizas fosilíferas (Acosta et al., 2008). Los conglomerados aparecen en capas de 50 cm, tienen clastos angulosos con diámetro mayor de 5 cm, y están compuestos de sílice, lutitas negras, rocas volcánicas y de calizas, en una matriz de arcosas de grano grueso, calcáreo y con tonalidad verdosa. Los conglomerados pasan rápidamente a niveles carbonatados granulares con abundantes restos fósiles. Las calizas de 80 cm promedio, poseen abundantes fragmentos de coral y están parcialmente erosionadas por un nuevo estrato conglomerádico de características similares a las anteriormente descritas.

La parte inferior de la quebrada El Burro presenta intercalaciones de estratos de conglomerados granodecrecientes, con clastos pequeños de areniscas, lutitas y roca volcánica. Estos conglomerados pasan progresivamente a niveles de arcosas de grano grueso, y a niveles cada vez más potentes de calizas fosilíferas grainstone de color gris oscuro.

La evolución sedimentaria de esta unidad es similar a la anterior, es decir, depósitos conglomerádicos que llegan al mar debido a la creación de relieves cercanos, y luego se dan las condiciones para la sedimentación de calizas arrecifales indicando una relativa tranquilidad.

Unidad 3 (105 m)

En quebrada El Burro, la Unidad 3 es gruesa y en ella se aprecia una intercalación de calizas en estratos que van de 0.50 a 0.30 m de espesor, de color gris, masivos, packstone a grainstone conteniendo

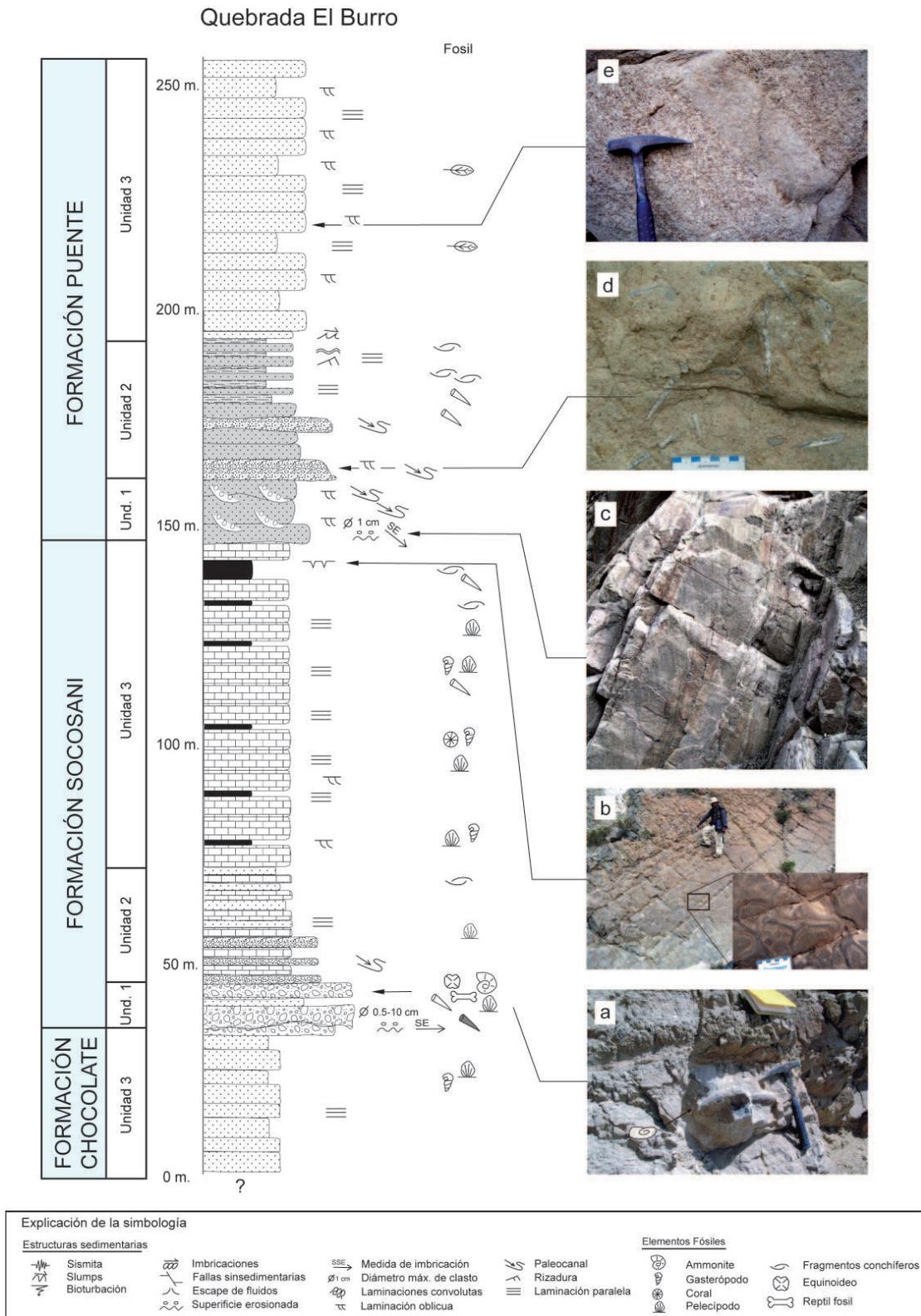


Figura 6. Columna estratigráfica de la quebrada El Burro. Figura 6a: muestra sedimentación conglomerádica de matriz carbonatada con ammonites del Toarciense superior y un arcosaurio. Figura 6b: grietas de desecación en calizas negras fosilíferas; Figura 6c: belemnites en posición caótica dentro de conglomerados con matriz calcárea. Figura 6d: calcarenitas con laminación oblicua curva de canal. Figura 6e: arenisca cuarzosa de grano grueso con laminación oblicua curva de canal.

delgados niveles de limolitas carbonosas de color negro. La cantidad de fósiles en todos estos niveles es abundante, con predominancia de bivalvos y gasterópodos. Las limolitas de la parte superior se hacen cada vez más potentes y presentan mayor abundancia de braquiópodos sugiriendo una progresiva transgresión marina o el hundimiento de la cuenca. La parte superior presenta calizas mudstone de color gris oscuro intercalada con lutitas fosilíferas de color negro, donde se aprecian grietas de desecación (Fig. 6b), rellenas con material limolítico de colores oscuros. Estas calizas están erosionadas y fueron redepositadas como areniscas con granos de caliza, conformando la base de la Formación Puente que sobreyace en discordancia erosional.

La asociación de corales, pelecípodos y braquiópodos en este nivel, en el cerro Yanacoto, tales como *Terebratula phillipsi* MORRIS & DAVIDSON, *Loboidothyris* cf. *L. pervalis* (SOWERBY), *Actinostrea* sp. y *Nerinea* sp. (Det. Ing. Aldana, en Reporte Interno del INGEMMET, 2007), indica que esta zona fue de ambiente arrecifal en un mar muy somero, tranquilo y limpio, cuya asociación indica el Bajociano. No obstante, por la naturaleza erosiva de la base de la unidad, no descartamos la posibilidad de hallar evidencia fosilífera del Aaleniano.

La interpretación planteada para la parte superior de la Formación Socosani, indica una sedimentación en ambientes marinos de plataforma carbonatada que se vuelve cada vez más tranquila, depositándose paquetes continuos de calizas, con abundante contenido fosilífero del tipo coralino. Estos ambientes se hacen cada vez más profundos. La sedimentación marina predominante en la época, es interrumpida por la actividad tectónica que produce levantamiento de la cuenca y en consecuencia la sedimentación es más somera, expuesta a climas áridos y produciendo grietas de desecación en las calizas y margas.

Formación Puente

La Formación Puente (Jenks, 1948) es una unidad que marca el inicio del relleno turbidítico de la cuenca Arequipa durante el Jurásico medio a superior (Vicente et al., 1982; León, 1981; Jacay, 2005). Sin embargo, el paso de las calizas Socosani a las turbiditas no ha sido descrito claramente hasta el momento. La columna levantada en la quebrada El

Burro muestra que las calcarenitas de la Formación Puente sobreyacen en discordancia a la Formación Socosani que registra al tope calizas y margas con grietas de desecación que fueron erosionadas.

La parte estudiada de la Formación Puente ha sido dividida en tres unidades. La primera está conformada por calcarenitas de grano grueso a medio de color gris oscuro, que contienen 90% de granos subangulosos de caliza, con laminación oblicua curva y canales conglomerádicos (Fig. 6c). Estos sedimentos están distribuidos en estratos de 1 a 2 m de espesor y son granodecrecientes. La base de los conglomerados presenta canales con clastos de calizas de diámetro mayor de 0,5 cm, subangulosos, clasto soportado e imbricados con sentido de paleocorriente hacia el sureste. Se interpreta un medio de depósito de ríos entrenzados de alta energía con canales conglomerádicos.

La segunda unidad corresponde a calcarenitas de grano grueso a medio, con canales conglomerádicos donde los clastos son de caliza, limolita y areniscas, subredondeados a redondeados, con diámetro mayor de 2 cm, en una matriz de calcarenita. Los conglomerados albergan restos fósiles bien conservados de belemnites (Fig. 6d). La unidad continúa con calcarenitas de grano medio a fino con laminaciones oblicuas curvas de canal, laminaciones paralelas, rizaduras de corriente y algunos clastos blandos. Las calcarenitas están intercaladas con lutitas de color negro y lentes de caliza gris oscura mudstone con fósiles de belemnites, conchillas de pelecípodos y gasterópodos. Esta unidad se interpreta como depósitos de medios deltaicos, donde la base corresponde a canales fluviales distributarios de la parte proximal deltaica, y la parte superior corresponde a un ambiente marino de frente deltaico.

La tercera unidad se caracteriza por presentar conglomerados con laminaciones oblicuas curvas, los que pasan progresivamente a areniscas de grano grueso conformadas por cuarzo subredondeado, con buena selección y escasa matriz (Fig. 6e), con laminaciones oblicuas rectas, típica de barras arenosas. Las intercalaciones de areniscas y conglomerados tienen cierta ritmicidad y alcanzan una potencia aproximada de 60 m. La parte terminal de esta secuencia está compuesta por areniscas de grano medio con laminaciones oblicuas curvas de canal, intercaladas con niveles delgados de areniscas

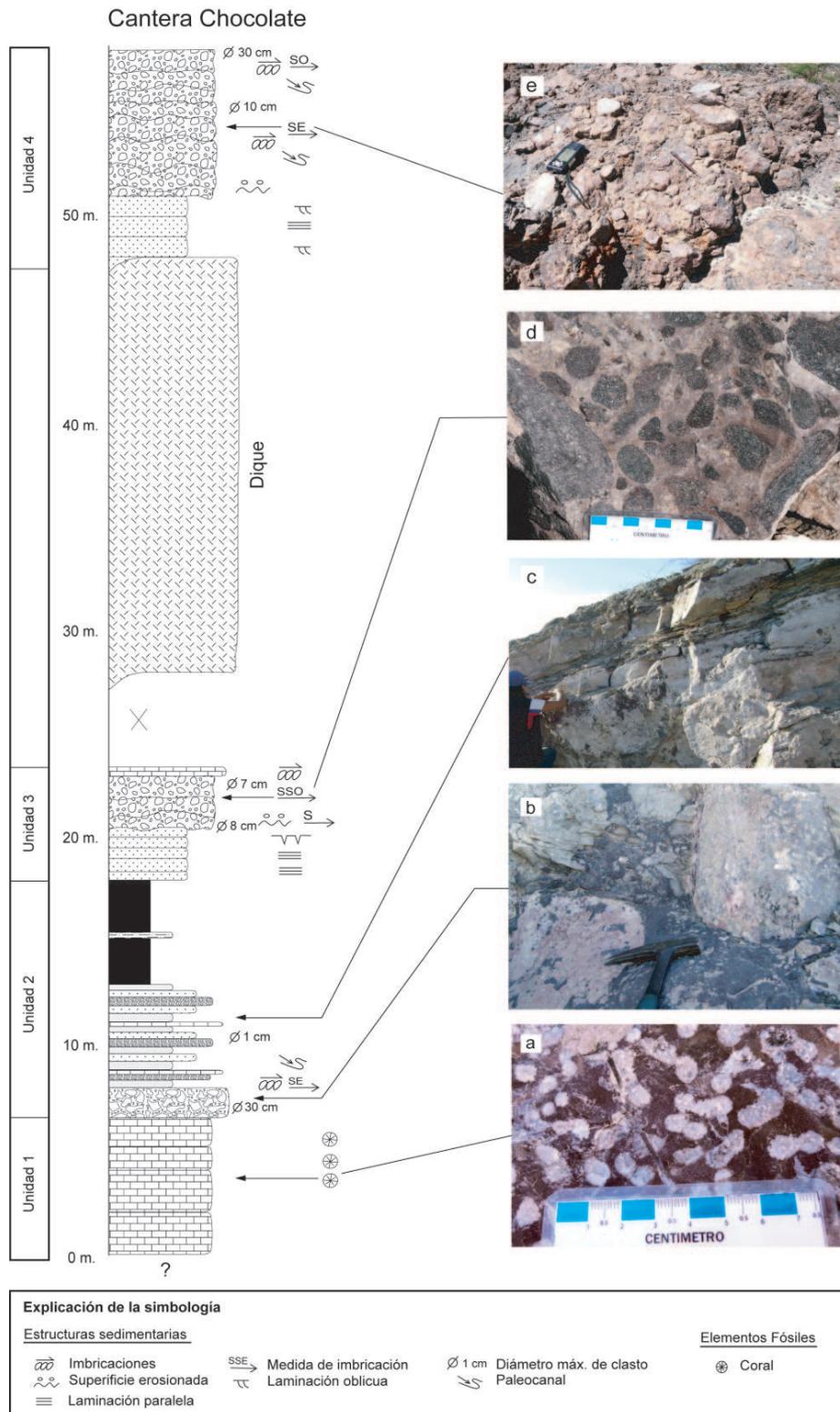


Figura 7. Columna estratigráfica de la cantera Chocolate. Figura 7a: calizas con corales de edad Liásica descrita anteriormente por Wells (1953). Figura 7b: conglomerados de matriz calcárea con clastos angulosos de calizas con más de 50 cm de diámetro. Figura 7c: conglomerados de clastos sub-redondeados de roca volcánica con matriz calcárea. Figura 7d: intercalación de areniscas, conglomerados y delgadas capas de caliza. Figura 7e: último nivel de conglomerados, con clastos de roca volcánica imbricada, con diámetro mayor de 30 cm.

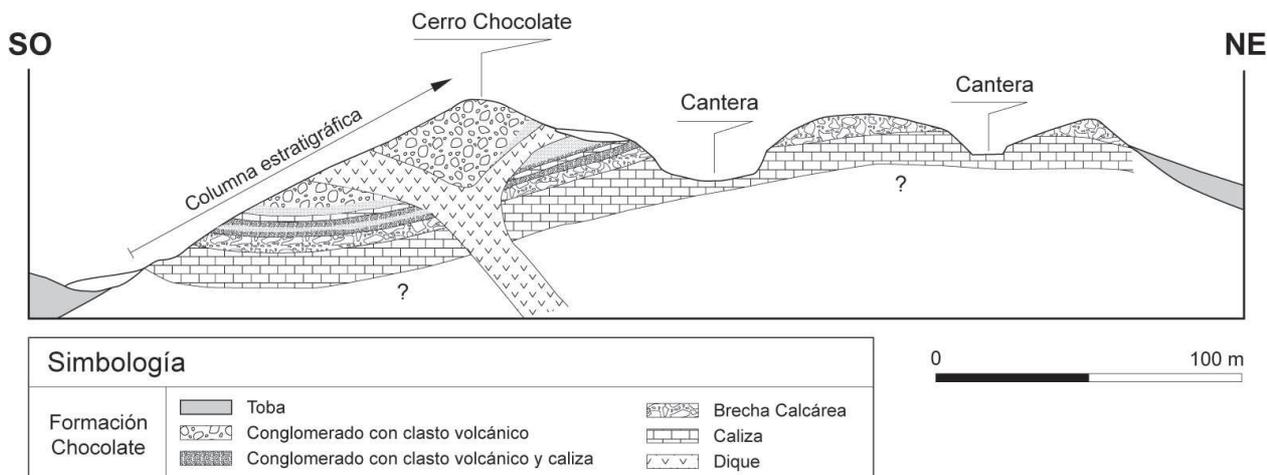


Figura 8.- Corte estructural de la cantera Chocolate, Yura.

cuarzosas de grano fino y color gris blanquecino. Todos estos depósitos son típicamente fluviales de canales entrelazados y posiblemente proceden del norte.

Afloramientos de la cantera Chocolate (60 m)

Los afloramientos de la cantera Chocolate –ubicado a menos de 6 km al sureste del cerro Yanacoto- fueron descritos como rocas volcánicas, pero en realidad corresponden a un intrusivo en forma de dique (Acosta et al., 2008). Estos afloramientos en la cantera Chocolate están constituidos además por rocas sedimentarias con abundante fósiles de corales coloniales y solitarios (Jenks, 1948), hallados en estratos de caliza masiva de color chocolate y gris. Wells (1953) estudió dichos fósiles y determinó a las especies *Lepidophyllia chocolatensis* (WELLS), *Oppelismillia* aff. *O. victoriae* (DUNCAN) y *Lepidophyllia* aff. *L. ebridensis* (DUNCAN), asignándoles un amplio rango de edad correspondiente al Jurásico inferior.

Aquí también se ha levantado una columna estratigráfica (Acosta et al., 2008) donde se ha determinado 4 unidades.

La primera (7 m) contiene en su base estratos masivos de calizas mudstone de color gris oscuro con abundantes fósiles de corales coloniales (Fig. 7a).

La segunda (13 m) empieza con bancos irregulares de brechas y conglomerados con clastos enteramente conformados por calizas de la primera unidad, distribuidas en forma caótica, con muy mala selección, y diámetros que varían de 50 a 0,5

cm (Fig. 7b). Luego siguen areniscas con granos gruesos subangulosos de calizas grises oscuras; y delgados niveles de conglomerados con diámetros de clastos que no superan los 0,5 cm y areniscas calcáreas de grano medio a fino, con potencias de 10 cm, dispuestas en canales, grano decrecientes (Fig. 7c). La unidad termina en una secuencia de limolitas de color negro bien laminada y sin fósiles.

La tercera (4 m) tiene en la base bancos de 0,5 a 1 m de arcosas de grano grueso a medio, con laminaciones horizontales y abundantes grietas de desecación., seguida de un paquete de conglomerados dispuestos en estratos delgados, con clastos de roca volcánica y calizas con diámetros de hasta 7 cm. Los clastos son subangulosos, clasto soportados y presentan escasa matriz arenosa (Fig. 7d).

La cuarta unidad (9 m) tienen una base compuesta por arcosas y seguidas de conglomerados donde los contactos son erosivos (Fig. 7e). Los conglomerados tienen clastos de roca volcánica con diámetros variables de hasta 30 cm, son subangulosos, clasto soportados, con escasa matriz arenosa, dispuestos en estratos potentes y ligeramente imbricados. Las imbricaciones indican que los flujos de corriente fueron hacia el sureste y suroeste.

Estas unidades están cortadas por un dique decamétrico de andesitas, considerado como coladas volcánicas. Sin embargo las evidencias de campo muestran que estas rocas cortan a todos los niveles de la sucesión sedimentaria y por lo tanto corresponden a un cuerpo intrusivo (Fig. 8).

Las calizas de la cantera Chocolate fueron

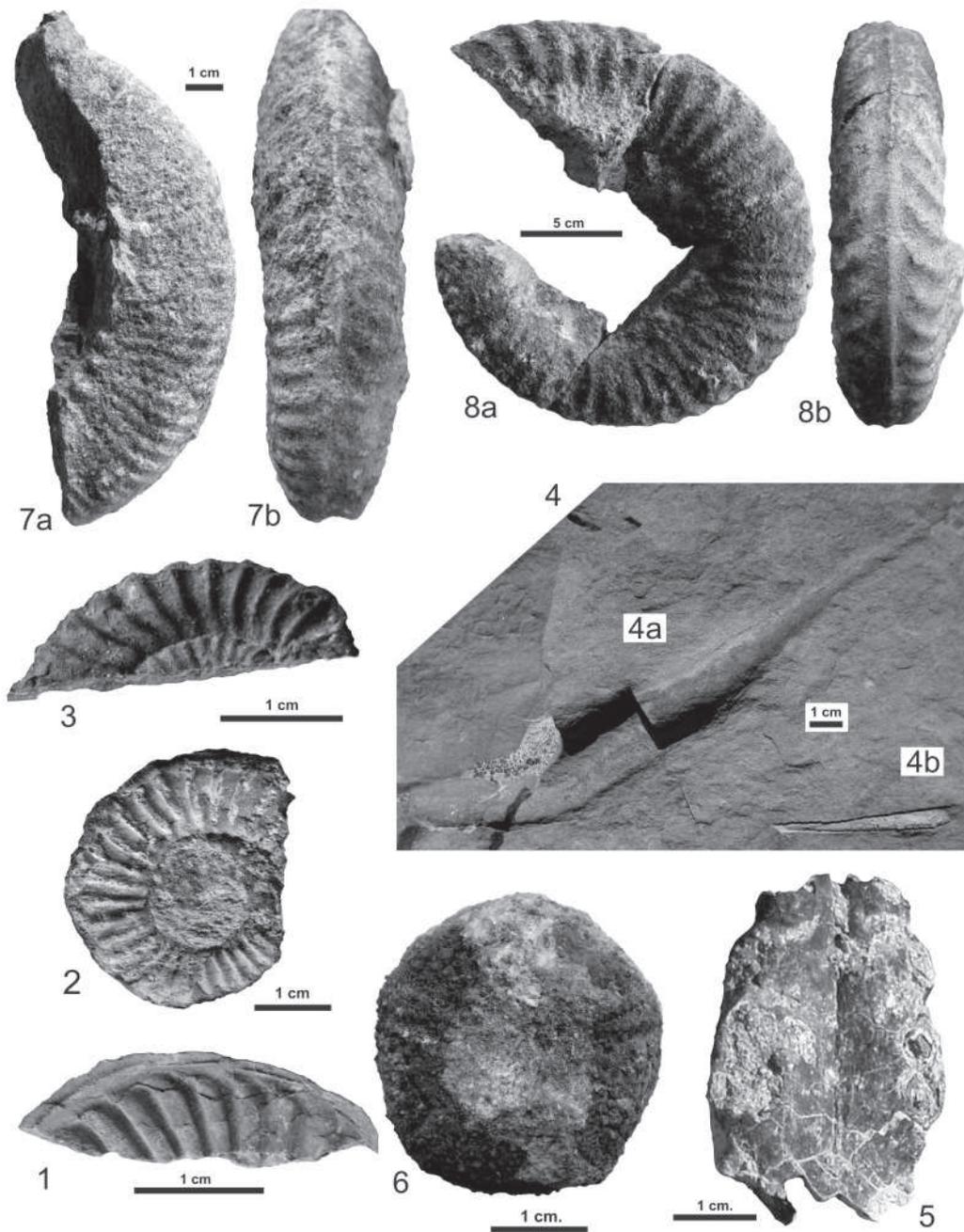


Figura 9. Ammonites colectados en cerro Yanacoto y en la quebrada El Burro, Yura. Figura 9-1: *Coroniceras* sp. del Sinemuriano inferior (Formación Chocolate, Unidad 2); 9-2: *Arnioceras* sp. del Sinemuriano inferior (Formación Chocolate, Unidad 2); Figura 9-3: *Arnioceras* sp. del Sinemuriano inferior (Formación Chocolate, Unidad 2); Figura 9-4a: *Atractites alpinus* (v. GÜMBEL) y 9-4b: *Atractites* sp. (Formación Socosani, Unidad 1), ambos coleoideos son del Toarciaco inferior; Figura 7-5: Fragmento de mandíbula de arcosaurio (Formación Socosani, Unidad 1); Figura 9-6: Equinoideo ind. (Formación Socosani, Unidad 1); Figura 9-7a,b: *Hammatoceras* sp. del Toarciaco superior (Formación Socosani, Unidad 1); Figura 9-8a,b: *Hammatoceratidae* ind. del Toarciaco superior (Formación Socosani, Unidad 1).

depositadas en condiciones favorables para el desarrollo faunístico de colonias coralinas, es decir, aguas marinas claras, templadas y muy superficiales, propicias para el establecimiento de arrecifes pero cercanos al continente. Las brechas calcáreas indican que las condiciones cambiaron bruscamente, ya que los relieves creados, seguramente por la tectónica, hace que se formen brechas calcáreas, que erosionan las zonas de arrecifes y anuncian además, la llegada de conglomerados provenientes del continente, que se hacen cada vez más gruesos, indicando una progradación.

Las descripciones e interpretaciones sobre la cantera Chocolate plantean un problema cuando se hacen las correlaciones con los afloramientos vecinos. Se ha tomado en cuenta las determinaciones de los corales hechas por Wells (1953) que indican un amplio rango de edad pero no más jóvenes que el Jurásico inferior, es decir que el Toarciano. Además, calizas como las descritas en la cantera no están presentes en la Formación Chocolate de Yanacoto ni en la quebrada El Burro. Otro factor es la existencia de brechas calcáreas que alcanzan hasta 50 cm y que indican actividad tectónica sinsedimentaria importante. Por lo tanto se propone que estos afloramientos de la cantera Chocolate serían del Toarciano, y sería correlacionable con la parte inferior de la Formación Socosani, que sí contiene corales y además muestra evidencias de actividad tectónica sinsedimentaria, así como irrupción de niveles conglomerádicos fluviales sobre las calizas coralinas.

INTERPRETACIONES

En el cerro Yanacoto y en la quebrada El Burro, la Formación Chocolate (Sinemuriano-Pliensbachiano?) consta esencialmente de rocas sedimentarias, donde la base es una falla y el techo corresponde a una discordancia erosional con la Formación Socosani (Toarciano-Bajociano). La formación Chocolate se ha dividido en tres unidades litoestratigráficas que comienzan con conglomerados y terminan en areniscas, mostrando una retrogradación de las partes proximales de ríos provenientes del noroeste y se depositan cerca de la línea de costa. Igualmente, la base de las unidades marca la existencia de relieves creados por la tectónica, y el techo más bien una influencia marina por el aumento del nivel del mar. En efecto, la transgresión sinemuriana está registrada en el

techo de la Unidad 2 donde se depositan limolitas con ammonites, en un contexto de vulcanismo y de tectónica sinsedimentaria que anuncia la creación de relieves en las zonas de aportes (base de la Unidad 3) y que se traduce por la nueva llegada de ríos proximales. Estos ríos conglomerádicos evolucionan nuevamente a medios de playa debido al aumento del nivel del mar (techo Unidad 3), de posible edad pliensbachiana, hasta la llegada nuevamente de conglomerados, que indican una nueva creación de relieves debido a una tectónica de bloques, pero también al aumento del nivel del mar debido a la gran transgresión del Toarciano que afecta toda la cuenca (base de la Formación Socosani). Si bien hay una discordancia marcada entre las formaciones Chocolate y Socosani debido a la tectónica extensiva del Toarciano, de manera global se ve una evolución sedimentaria más o menos continua entre estas dos unidades y sobretodo la interacción de los factores tectónicos que crean los relieves desarrollando ríos proximales y el aumento del nivel de mar, con depósitos someros hasta la instalación de una plataforma carbonatada en el Aaleniano-Bajociano, con la formación de calizas coralinas. Posteriormente, en el Bajociano superior y por factores tectónicos la plataforma sufrió un hundimiento, y luego rápidamente un levantamiento para permitir el depósito de medios someros. Finalmente, en la zona se estableció un sistema fluvial y deltaico durante el Batoniano (parte inferior Formación Puente). En este contexto, el análisis de la evolución de los afloramientos de la cantera Chocolate y los fósiles disponibles, indican más bien que esta sucesión correspondería a la parte inferior de la Formación Socosani, la que contiene corales y tienen evidencias de actividad tectónica sinsedimentaria importante.

CONCLUSIONES

El análisis sedimentológico y paleontológico de las formaciones Chocolate, Socosani y la parte inferior de la Formación Puente, muestra variaciones respecto a las interpretaciones realizadas por diferentes autores. Así los afloramientos de la Formación Chocolate (Sinemuriano-Pliensbachiano?) del cerro Yanacoto son exclusivamente de rocas sedimentarias y no volcánicas. Los conglomerados y areniscas muestran una evolución típica de zona de transición continental y marina, en este caso marcada por la interacción de factores tectónicos que crean relieves y el aumento del nivel del mar que trata de

instalar una plataforma carbonatada que finalmente ocurre con las calizas de la Formación Socosani (Toarciano-Bajociano). El estudio muestra también las dos transgresiones importantes del Sinemuriano y del Toarciano que son reconocidas en toda la cuenca Arequipa, así como dos eventos tectónicos extensivos importantes. Uno de ellos pertenece al Toarciano, que en realidad es el clímax de eventos menores que crean los relieves que depositan los conglomerados de la Formación Chocolate. El otro evento mayor ocurrió en el Bajociano superior y permitió el hundimiento y luego el rápido levantamiento de la plataforma carbonatada de la Formación Socosani, para dar paso en el Batoniano a los depósitos fluviales y deltaicos de la parte inferior de la Formación Puente.

Igualmente, se pone en evidencia por primera vez los fósiles *Atractites alpinus* (v. GÜMBEL)

y *Atractites* sp. del Toarciano inferior; así como *Hammatoceras* sp., *Hammatoceratidae* ind que apoyan en la asignación cronoestratigráfica del primer reptil fósil del Toarciano superior en el Perú. Finalmente, se muestra que los denominados volcánicos de la cantera Chocolate, son en realidad intrusivos de un dique, y que las calizas allí presentes y que definen a la Formación Chocolate pertenecerían más bien a la Formación Socosani.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló en el marco del proyecto de investigación GR1: Estudio de los arcos magmáticos mesozoicos-cenozoicos del Sur de Perú, el cual se realiza en la Dirección de Geología Regional del INGEMMET. Los autores expresan su agradecimiento al Dr. Victor Carlotto y al Ing. Cesar Chacaltana por revisar y mejorar el manuscrito.

REFERENCIAS

- Acosta, H., Alván, A., Torres, P. & Cornejo, T. (2008). La Formación Chocolate en su localidad tipo: Cantera Chocolate y cerro Yanacoto (Arequipa). XIV Congreso Peruano de Geología, 6 p.
- Aldana, M. (2007). Reporte Interno N° 35-2007. Dirección de laboratorios del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, p. 14.
- Alván, A., Acosta, H. & Aldana, M. (2008). Nuevas evidencias de amontes en el contexto sedimentario de la Formación Chocolate (Yura, Arequipa). XIV Congreso Peruano de Geología y XIII Congreso Latinoamericano de Geología, p. 6.
- Alván, A., Hillebrandt, A. v., Riegraf, W & Oviedo, M. (2009). Nuevos aportes en la paleontología y estratigrafía de las formaciones Chocolate y Socosani en el distrito de Yura, Arequipa (Sur de Perú). Trabajo presentado al XII Congreso Geológico Chileno 2009.
- Benavides, V. (1962). Estratigrafía Pre-terciaria de la región de Arequipa. II Congreso Nacional de Geología, Tomo 38, p. 5-63.
- Hillebrandt, A. v. (1981).- Kontinentalverschiebung und die paläozoogeographischen Beziehungen des südamerikanischen Lias. Geol. Rundschau, 70/2; p. 570-582.
- Hillebrandt, A. v. (1987).- Liassic ammonite zones of South America and correlations with other provinces. With description of new genera and species of ammonites. Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico: Cuencas sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur. Vol. 2; p. 111-157.
- Jacay, J. (2005). Análisis de los depósitos de corriente de alta densidad de la Formación Puente (cuenca de Arequipa), sur del Perú. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG, Vol., 8, N° 16, p. 51-56.
- Jenks, W. 1948. Geología de la Hoja de Arequipa al 200,000. Boletín del Instituto Geológico del Perú, Bol. 9.
- Soler P. (1991). Contribution à l'étude du magmatisme associé aux zones de subduction. Pétrographie, géochimie et géochimie isotopique des roches intrusives sur un transect des Andes du Pérou Central. Implications géodynamiques et métallogéniques. Tesis Univ. Paris VI, p. 950.
- Vargas, L. (1970). Geología del cuadrángulo de Arequipa (Hoja 33-s). Servicio de Geología y Minería del Perú (actualmente INGEMMET), N° 24, p. 64.
- Vicente, J.-C. (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.
- Vicente, J.-C., Beaudoin, B., Chavez, A. & León, I. (1982). La cuenca de Arequipa (Sur Perú) durante el Jurásico-Cretácico inferior. Quinto Congreso Latinoamericano de Geología, Argentina, Actas, I: p. 121-153.
- Wells, J. (1953). Mesozoic Invertebrate Faunas of Peru Part 3. Lower Jurassic Corals from the Arequipa Region. American Museum Novitates, N° 1631, p. 1-14.