



Rocas sedimentarias y volcánicas del Triásico superior?–Jurásico inferior: La Formación Chocolate en el extremo sur del Perú

Harmuth Acosta, Aldo Alván, Mirian Mamani, Juan Pablo Rodríguez, y Moisés Cutipa

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

1. Introducción

La Formación Chocolate ha sido definida por Jenks (1948) en Yura, departamento de Arequipa. Trabajos posteriores en faciología, estratigrafía y bioestratigrafía realizados por Benavides (1962), von Hillebrandt (1981), Sánchez et al. (2000), Acosta et al. (2009), y Alván et al. (2010), entre otros, demuestran la continuidad de estas capas volcano-sedimentarias a lo largo de la Cordillera de la Costa, mientras que a las rocas netamente sedimentarias se les halla a lo largo de la faja comprendida entre la Cordillera de la Costa y la vertiente suroeste de la Cordillera Occidental. Litológicamente, las unidades formacionales sedimentarias mesozoicas en los departamentos de Arequipa y de Tacna fueron comparadas con criterios de cronología y faciología sedimentaria. Por lo tanto, se afirma que los estratos que afloran en la costa del departamento de Tacna entre Morro de Sama y La Yarada (Fig. 1) son variaciones litológicas, con similitudes biocronológicas, de los estratos más clásicos de diversos sectores de Arequipa, como en gran parte del Sur peruano. En consecuencia, este área evolucionó conjuntamente con la cuenca Arequipa, siendo parte de ella.

Por el oeste, debido precisamente a las primeras manifestaciones de tectonismo positivo de la Cordillera de la Costa, afloran los estratos más antiguos en la costa sur, siendo constituidos por importantes apilamientos de rocas volcánicas y sedimentarias correspondientes a la Formación Chocolate. Seguido a esto, se tiene sedimentos de origen marino y continental atribuidos a las formaciones Socosani y Puente-Cachíos. Estudios en Chile mencionan la continuidad de los depósitos sedimentarios de esta cuenca, denominándola como la parte norte de la cuenca mesozoica de Arequipa-Tarapacá (Westermann y Riccardi, 1985; Palacios et al., 1995), así como de las rocas volcánicas jurásicas, correspondiendo a las formaciones

La Ternera y La Negra (Cecioni y García, 1960; Seyfried et al., 1999).

Basándonos en criterios de extensión espacial, posición estratigráfica, además de contar con mayor información obtenida en los cuadrángulos de Pachía (36-v) y Palca (36-x) en el extremo sur peruano (Acosta et al., 2011), una serie de secciones estratigráficas levantadas localmente ayudan a comprender la evolución de la parte basal de la Formación Chocolate.

2. La Formación Chocolate en la costa sur de Tacna

Se dividió en dos unidades:

A) Los afloramientos de rocas volcánicas y sedimentarias de la Unidad A (Fig. 1) están restringidos hacia la margen oeste de la Cordillera de la Costa. Está presente desde el Morro de Sama, Punta Morena, cerros Calvario, Alto Fuerte de los Españoles, hasta Llostay, extendiéndose evidentemente por debajo del mar.

B) La segunda unidad (Fig. 1) fue levantada en la margen derecha del río Sama, específicamente en el Cerro Alto Los Españoles.

Esta unidad estratigráfica se encuentra de manera concordante sobre la Unidad A de la Formación Chocolate. La relación de contacto con los sedimentos atribuidos a la Formación Socosani es mediante un paso erosivo. Una característica en común de estas unidades es la presencia de numerosos diques y sills que son en su mayoría de naturaleza basáltica y andesítica. Estos diques y sills corresponden a los conductos por donde se movilizó la lava con dirección a la superficie, provenientes de numerosos eventos volcánicos del arco Chocolate. Esta caprichosa distribución de diques conlleva a apreciar el contexto de depositación que en esta edad corresponde a procesos de distensión. Una generación de diques más jóvenes y de composición de diorita-dacita corta toda la

pila estratigráfica, apreciándose que en el momento de su emplazamiento alteraron el contacto con la roca de caja, generándose así una zona silicificada. Las direcciones de emplazamiento de los diques son esencialmente N-S, NO-

SE, y E-O. Estos diques alcanzan un ancho de 1 a 2 m de potencia y en algunas ocasiones generan algo de mineralización de cobre, como observado en la parte alta del Cerro Siete Colores.

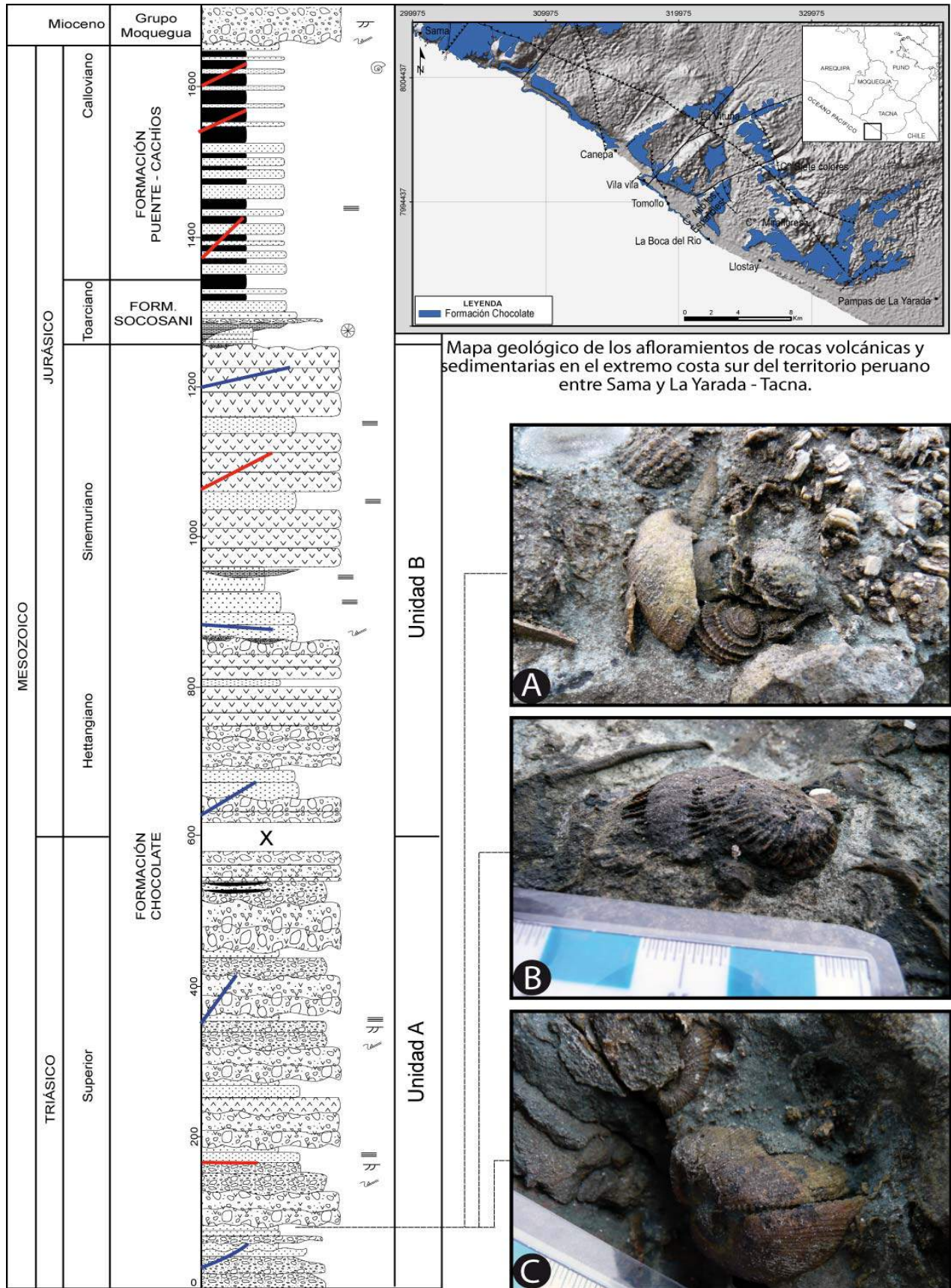


Figura 1. Columna estratigráfica generalizada de la Fm Chocolate entre Sama y La Yarada. Las líneas rojas representan diques y sills basalto-andesíticos. Las fotografías muestran los fósiles de ambiente marino somero de la parte basal.

2.1. Unidad A

Se distinguió flujos basálticos de color gris oscuro y rojo violáceo con presencia de fenocristales de plagioclasa en una abundante matriz feldespática. Por la alteración intensa que presentan las rocas, se aprecia abundante mineral de clorita y epidota que dan a la roca una tonalidad gris verdusca; este típico color se aprecia en zonas de playa, mientras que en la Cordillera de la Costa prima la coloración rojo violáceo. Estas rocas están estratificadas con horizontes de arcosas y conglomerados producto de la erosión de las rocas volcánicas mencionadas. Las arcosas son de grano grueso, de fragmentos de plagioclasa con formas subangulosas. Los conglomerados presentan clastos de roca volcánica basáltica, con tamaños entre 3 y 10 cm de diámetro, en matriz arcósica. La columna estratigráfica iniciada al borde del mar (313464/8000182 UTM, WGS84) representa los afloramientos más antiguos con fósiles de esta formación. La columna exhibe intercalaciones de rocas volcánicas basálticas, aglomerados volcánicos y canales de conglomerados. Estos conglomerados presentan clastos de roca volcánica de forma subangulosa con diámetros entre 0.5 y 10 cm en matriz arenosa-limosa de color marrón rojizo; metros más arriba, la secuencia conglomerádica cambia significativamente de composición, admitiendo además clastos de caliza color gris oscuro envueltos en matriz mucho más abundante de limolita de color gris y con cemento calcáreo; existen algunos niveles de areniscas carbonatadas con laminaciones oblicuas curvas de canal y rizaduras de corriente asimétricas con dirección de corriente al sur y oeste, además de observar rizaduras de doble dirección. Contienen fósiles (Fig. 1, fotos A, B, C) tales como braquiópodos, gasterópodos, bivalvos y equinoideos, que son fauna típica de plataformas intertidales y de ambiente infralitoral, o de ambientes de aguas marinas muy someras arrecifales, o de ambientes de playa donde dominaba la acción de olas de manera constante. Al tope las rocas volcánicas son de composición andesítica y están intercaladas con aglomerados de coloración parda, verdosa y rojo violáceo; los conglomerados son monomíticos formados únicamente por rocas volcánicas subredondeadas a angulosas.

2.1.1. Edad de la unidad A

M. Aldana (INGEMMET) determinó a los braquiópodos *Spiriferina* sp.; los bivalvos *Astarteinca* JAWORSKI, *Trigonodus* sp., *Trigonia (Frenguelliella)* sp., *Schafhaentia americana* COX, *Weyla* sp., *Schizocardita cristata* KORNER; los gasterópodos *Promathilda (Teretrina)* cf. *terebraeformis* HAAS; y los equinoideos *Triadocidarid* sp., *Radiolusrostratus* KORNER y *Eritalis* sp. La asociación de equinoideos colectados sugiere que pertenecen al Noriano. Mientras que, en conjunto todas las especies colectadas, sugieren el Triásico superior. Cecioni y Westermann (1968) mencionan que en el intervalo Triásico superior-Jurásico superior de la costa central de Chile, existen facies sedimentarias arenosas y lutíticas conteniendo fauna amonoidea de la biozona de *Schlotheimia angulata* (Hettangiano) encima de niveles

que contienen a *Arcestes* sp., *Cladiscites* sp. y *Oxytoma* cf. *inaequivalvis* (Raetiano). Estos se encuentran además encima de niveles del Noriano. En el Noriano, describen facies continentales, conteniendo a los vegetales fósiles *Dicroidium*, *Yabeiella*, *Podozamites*, *Baiera* y *Naeggerethiopsis*.

Por lo tanto se sugiere un edad Triásico superior para el grupo de rocas volcánicas y sedimentarias de la unidad A de la Formación Chocolate. Esta conclusión basada en datos bioestratigráficos independientes encaja perfectamente con los resultados geocronológicos, basados en dataciones U-Pb sobre circones, publicados recientemente por Boekhout et al. (2013).

2.2. Unidad B

La La sección se inicia en 323277/7993506 UTM WGS 84, con estratos de 2 a 3 m de potencia conformados por aglomerados volcánicos y rocas basalto-andesíticas. Estas rocas volcánicas poseen fenocristales de plagioclasa de tamaño promedio de 0.4 cm. Este apilamiento de rocas alcanzan los 50 m de espesor, culminando con el límite de un nuevo banco conformado por arcosas de grano medio a fino, de color pardo a verdusco, y arcosas de grano medio a grueso, de color marrón rojizo. Los cristales de plagioclasa incluidos como granos en esas arcosas están quebrados; se asegura su procedencia de la erosión de rocas volcánicas ubicadas al oeste de la cuenca.

La parte media y superior de la columna está conformada en su mayoría por estratos volcánicos que oscilan entre 5 y 7 m de potencia cada uno, conteniendo fenocristales de plagioclasa que varían de tamaño entre 0.4 y 0.2 cm, entre estratos o episodios lávicos, y envueltos en una matriz abundante de color marrón rojizo. Los niveles volcánicos están interdigitados con episodios cortos de sedimentación representados por arcosas de grano medio a grueso de forma subangular en una matriz limolítica de tonalidad rojiza. Los canales conglomerádicos son muy notorios, desarrollándose de manera esporádica entre los estratos de arcosas y de manera continua en el contacto con las rocas volcánicas. Los clastos de los conglomerados son netamente de material volcánico basalto-andesítico, hallándose clastos que alcanzan hasta los 10 cm de diámetro.

2.2.1. Edad de la unidad B

Acosta & Alván (2008) en el sector de Alto El Madero (240604/8091957 UTM, WGS 84), cuadrángulo de La Clemesí (35-t), levantaron la columna estratigráfica que es correlacionada con la existente en Cerro Fuerte de Los Españoles (323262/7993614UTM WGS 84). La columna de Alto El Madero tiene 1055 m de espesor; su parte basal dominada por rocas volcánicas admite sucesivamente secuencias sedimentarias conglomerádicas a arcósicas. La parte superior, mayormente volcánica, admite arcosas verdes a gris verdoso, de grano medio subredondeado, sobreyacidas por un paquete irregular de calizas de tipo *mudstone* y color gris claro, con fósiles de *Ostreidae* indet., *Gryphaea* sp., *Pelecypodes* indet., *Ctenostreon rugosum* (SMITH), los corales *Oppelismilia* sp., *Serpula* sp., y *Lepidophylia* sp., indicando en su conjunto el Jurásico

inferior (M. Aldana, INGEMMET). Seguido a esto, cierra la secuencia un flujo volcánico erosionado por la base de la Formación Socosani.

3. Conclusiones

El análisis estratigráfico resultado de la interpretación de las unidades A y B de la Formación Chocolate presente en La Yarada, Tacna, y la Cordillera de la Costa, corresponde al límite oeste de la cuenca Arequipa, siendo esta zona donde funcionó el arco volcánico Chocolate. Longitudinalmente este arco en el sur del territorio peruano se extiende desde los afloramientos del Cerro Yanacoto en Yura (Arequipa), Alto El Madero (Moquegua), La Yarada (Tacna) y la parte norte del territorio chileno. En su estratigrafía se aprecia una superposición de eventos correspondientes a un volcanismo ubicado en la Cordillera de la Costa, caracterizado por presentarse en una zona sujeta a sufrir incursiones marinas de aguas cálidas, donde se desarrollaron complejos sistemas coralinos con una serie importante de fósiles determinados entre el Triásico superior y el Jurásico inferior. La asociación de los equinoideos *Triadocidaris* sp., *Radiolusrostratus* KORNER y *Eritalis* sp. sugiere que pertenecen al Noriano; mientras que el conjunto de los braquiópodos, bivalvos y gasterópodos sugiere el Triásico superior, correspondiendo en edad a los estratos de edad Triásico superior–Jurásico superior estudiados en la costa central de Chile. En Chile los estudios paleontológicos y estratigráficos de Cecioni y Westermann (1968) propusieron que existía durante el Noriano una topografía positiva que contrastaba con el tipo de sedimentación marina y continental hallada en los afloramientos de La Yarada para las rocas atribuidas a la Formación Chocolate. Por lo tanto, proponemos que estas rocas puedan corresponder a este período de tiempo.

Referencias

Acosta, H., Alván, A. 2008. Revisión de la Formación Guaneros en la localidad tipo: Implicancias en la evolución estratigráfica de la costa sur del Perú. XIV Congreso Peruano de Geología, Resúmenes extendidos, 6 p.

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). In: Bruce, B. (ed.), Sociedad Geológica del Perú, Volumen Especial n° 7, p. 63-78.

Acosta, H., Alván, A., Mamani, M., Oviedo, M., Rodríguez, J. 2011. Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca, hojas 36-v y 36-x, escala 1:50,000. INGEMMET, Boletines, Serie A: Carta Geológica Nacional, v. 139, 96 p.

Alván, A., Acosta, H., Gutiérrez, D., Arévalo, J., Sánchez, E., Tejada, L. 2010. División y comparación biozonal del Jurásico inferior de la cuenca Arequipa, sur de Perú: Resultados iniciales (CD-ROM). In: XV Congreso Peruano de Geología, Resúmenes extendidos, p. 196-199.

Benavides, V. 1962. Estratigrafía pre-terciaria de la región de Arequipa. In: II Congreso Nacional de Geología (Lima, 1960), Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v. 38, p. 5-63.

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, p. 179–200.

Cecioni, G., García, F. 1960. Stratigraphy of coastal range in Tarapaca Province, Chile. *AAPG Bulletin*, v. 44, p. 1609-1620.

Cecioni, G., Westermann, G. 1968. The Triassic-Jurassic marine transition of coastal central Chile. *Pacific Geology*, v. 1, p. 41-75.

Hillebrandt, A. von. 1981. Kontinental verschiebung und die paläozoogeographischen Beziehungen des südamerikanischen Lias. *Geologische Rundschau*, v. 70, p. 570-582.

Jenks, W.F. 1948. Geología de la hoja de Arequipa al 200,000. Carta Nacional del Perú, Instituto Geológico del Perú, Boletín 9, 204 p.

Palacios, O., Chacón, N., Sánchez, A., Canchaya, S., Aranda, A. 1995. Geología del Perú. INGEMMET, Boletines, Serie A: Carta Geológica Nacional, v. 55, 177 p.

Sánchez, A., Raymundo, T., Rosell, W. 2000. Memoria explicativa de la revisión geológica en los cuadrángulos de Punta de Bombon (35-s), Cledesí (35-t), Ilo (36-t), Locumba (36-u), La Yarada (37-u), Tacna (37-v), Huaylillas (37-x), Juli (33-y), Pizacoma (34-y) e Isla Anapia (33-z), a escala 1:100 000. Informe inédito, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Lima, 39 p., 10 mapas.

Seyfried, H., Wörner, G., Uhlig, D., Kohler, I., Calvo, C. 1999. Introducción a la geología y morfología de los Andes en el norte de Chile. *Chungara*, v. 30, p. 7-39.

Westermann, G.E.G., Riccardi, A. 1985. Middle Jurassic ammonite evolution in the Andean Province and emigration to Thethys. In: Bayer, U. & Seilacher, A. (eds.), *Sedimentary and evolutionary cycles*. Berlin, Springer Verlag, *Lecture Notes in Earth Sciences*, v. 1, p. 6-34.