



IMPORTANCIA ESTRATIGRAFICA DE LAS ICNITAS DE DINOSAURIOS PRESENTES EN LA FORMACION CHACARILLA (JURASICO-CRETACICO INFERIOR), REGION DE TARAPACA, CHILE

Blanco, N.¹, Tomlinson, A.¹, Moreno, K.² y Rubilar, D.²

INTRODUCCION

Durante el Jurásico Tardío-Cretácico Temprano la cuenca Marina de Tarapacá sufrió una regresión marina generalizada seguida por la depositación de secuencias continentales rojas (1, 2, 3, 4). En la última fase de sedimentación de la cuenca, ocurrió, en la región, la depositación de sedimentitas clásticas con un extraordinario registro icnológico de dinosaurios, agrupadas y descritas en la Formación Chacarilla primeramente por Galli y Dingman (5). Debido a la escasez de fósiles con rango estratigráfico restringido y a la ausencia de materiales datables radiométricamente, la edad de la Formación Chacarilla no había podido ser precisada con certeza.

El propósito de este trabajo es dar a conocer las implicancias cronoestratigráficas del hallazgo de icnitas de grandes ornitópodos en la Formación Chacarilla, las que documentan y confirman, con seguridad, la presencia del Cretácico Inferior en la porción media a superior de esta formación.

ANTECEDENTES GEOLOGICOS

La Formación Chacarilla consiste en una sucesión predominantemente clástica, de 1,120 m mínimos expuestos, que incluye una sección inferior marina, con fósiles invertebrados de edad jurásica superior, probablemente oxfordiana, y una sección superior de carácter continental (5). Subyace en discordancia angular a rocas clásticas y volcánicas de la Formación Cerro Empexa, del Cretácico Superior-¿Paleoceno? (5, N. Blanco y M. Martín, datos no publicados) (Fig.-1). Estructuralmente, la Formación Chacarilla aflora en una secuencia plegada que incluye, de W a E, un anticlinal en cofre, en cuyo núcleo afloran las facies marinas, y un sinclinal abierto donde se exponen principalmente las facies continentales.

El primer antecedente de edad para las facies continentales fue proporcionado por Galli y Dingman (5), al reportar una edad oxfordiana para las facies marinas que la subyacen. Con posteridad y hacia el sur, en unidades estratigráficamente equivalentes, se reportaron similares edades oxfordianas para unidades marinas fosilíferas que subyacen concordantemente a sucesiones continentales (6,7,8). Todos los autores (6,7,8) señalan una edad jurásica superior para las sucesiones continentales sobre la base de: a) la discordancia angular situada en su techo, la que atribuyen a un evento orogénico de presunta edad titoniana (5), b) la asignación de una edad titoniana-cretácica inferior a unidades volcánicas que sobreyacen la discordancia, como la Formación Cerro Empexa (6,7,8). La asignación de edad de estas unidades volcánicas fue, en parte, el resultado de una correlación errónea con unidades andesíticas ubicadas al este de la Falla Oeste, las que se sitúan estratigráficamente debajo de unidades riolíticas (Formación Collahuasi *sensu* 7 y Formación Peña Morada (9)), con edades K-Ar de 114-89 Ma (10). Posteriores observaciones, indican que ambas unidades, andesíticas y riolíticas, situadas al este de la Falla Oeste, se encuentran estratigráficamente debajo de las unidades marinas jurásicas, y están intruidas, además, por granitoides con edades radiométricas (K-Ar y U-Pb) carbonífero-pérmicas (11,12). No obstante, estos mismos autores continúan asignando al Jurásico Superior las unidades que son correlacionables con la Formación Chacarilla

Bogdanic (3,13) basándose en edades radiométricas en volcanitas de la Formación Cerro Empexa y en intrusivos que cortan a estas volcanitas y a las sedimentitas rojas, propuso un rango de edad más amplio Kimmeridgiano-Barremiano-(¿Aptiano?) para las unidades clásticas continentales. Aunque algunos de estas edades radiométricas son discutibles (error cronas Rb/Sr en muestras no cogenéticas y una edad Pb/α), otras, sin embargo, parecen confiables ($99,4 \pm 5,1$ Ma K-Ar biotita y $93,9 \pm 3,5$ Ma Ar-Ar hornblenda en

¹ Servicio Nacional de Geología y Minería, Av. Sta. María 0104, Providencia-Santiago, Chile / nblanco@sermigeomin.cl

² Universidad Austral de Chile, Instituto de Geociencias, Casilla 567, Valdivia, Chile.

intrusivos que cortan las sedimentitas rojas (14)) e indicarían un edad mínima local albiana para las sedimentitas rojas.

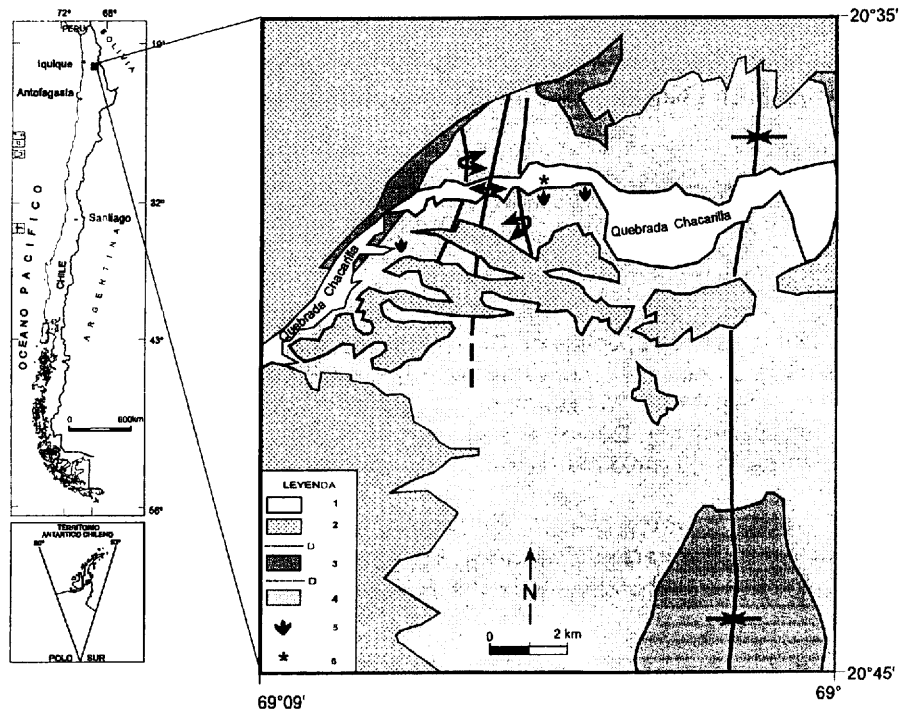


Fig. 1. Ubicación zona de estudio. Mapa geológico simplificado de la quebrada Chacarilla, con la ubicación de localidades icnológicas (modificado de (5)). 1: Cuaternario; 2: Formación Altos de Pica (Oligoceno Sup.-Mioceno Inf.); 3: Formación Cerro Empexa (Cretácico Sup.-¿Paleoceno?); 4: Formación Chacarilla (Jurásico Sup.-Cretácico Inf.); 5: sitio icnológico; 6: ubicación columna estratigráfica; D: discordancia angular.

Por otra parte, en la quebrada Juan de Morales, Herbst y Troncoso (15) sitúan la Formación Chacarilla en el Jurásico Medio, sobre la base de una asociación de tafloflora. Sin embargo, en la misma quebrada, afloran sedimentitas marinas con fauna caloviana y oxfordiana (16). Aunque la relación estratigráfica entre los afloramientos con tafloflora y las sedimentitas marinas no ha sido determinada, es conocido que la transgresión marina en el norte de Chile fue diacrónica y, por lo menos en un lugar, se ha documentado una sucesión de conglomerados y areniscas continentales de edad probablemente Toarciense-Aaleniano que subyacen, concordantemente, a sedimentitas marinas bajocianas (17,18). De este modo, es más probable que los afloramientos estudiado por Herbst y Troncoso (15) no corresponden a la Formación Chacarilla y probablemente se sitúan estratigráficamente debajo de las unidades marinas.

En contraste a los trabajos anteriores, Ardill *et al.* (18) asigna una edad exclusivamente cretácica inferior a las rocas continentales, por sobreyacer concordantemente, pero con hiatus, a rocas marinas del Kimmeridgiano tardío. La edad proporcionada por (18) es discutible, por cuanto no proporciona antecedentes respecto de la duración del hiatus ni tampoco datos duros sobre la edad de las rocas continentales.

SEDIMENTOLOGIA E ICNIOFACIES

Los estratos portadores de icnitas se sitúan estratigráficamente en la porción media a superior de la Formación Chacarilla. Allí se levantó una sección de 140 m de espesor (Fig.-2) formada por una alternancia más o menos rítmica entre lutitas y areniscas rojas, estructuradas en sucesiones grano y estrato decreciente, de escala métrica a decamétrica. Dos conjuntos de facies fluviales (meandriforme) se han diferenciado en esta sección: *barras de punta* y *planicie de inundación*.

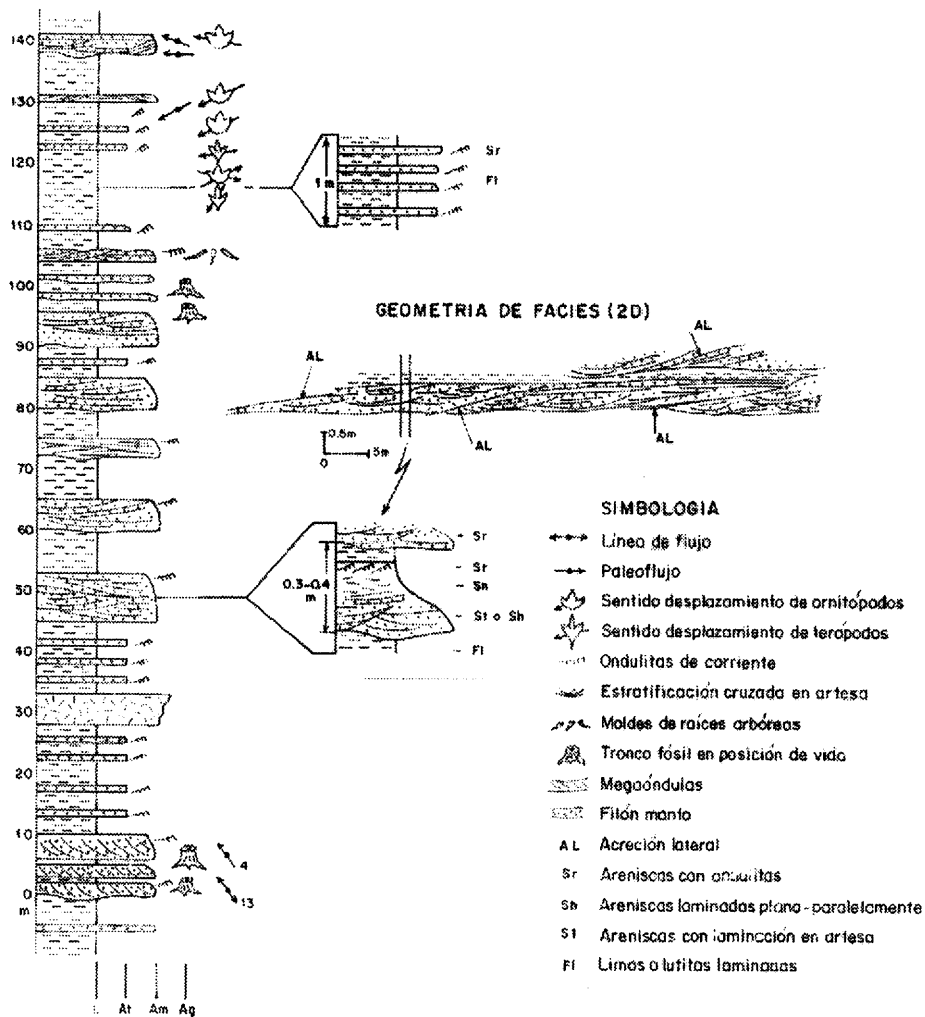


Fig. 2. Columna sedimentológica parcial de la Formación Chacarilla (porción superior) en la quebrada homónima. Las icnitas de dinosaurios se sitúan en áreas de planicie de inundación de un río meandriforme y su dirección de desplazamiento es aproximadamente paralelo a las direcciones de flujo fluvial.

La primera consiste en la sobreimposición de varios ciclos grano y estrato decrecientes, cada uno de ellos de 30-50 cm de espesor, alcanzando en conjunto 4-10 m de potencia. Cada ciclo está constituido por areniscas cuarcíferas medias, con estratificación cruzada en cuenca, las cuales pasan progresivamente a areniscas finas laminadas planoparalelamente y, en la parte más alta del ciclo, limolitas rojizas con ondulitas de corriente. Las paleocorrientes medidas en esta asociación indican flujos hacia el NW, WNW y W. En secciones ortogonales a las direcciones de flujo, los cuerpos de arenas muestran una geometría sigmoidal que estructuran una megaestratificación cruzada del tipo *Épsilon* (20). Éstas representan superficies de acreción lateral en una barra de punta (21, 22). Las facies de planicie de inundación, por otra parte, están constituidas principalmente por fangolitas o lutitas finamente laminadas, generalmente mal preservadas, con restos vegetales y niveles carbonosos, estructuras de raíces y, en algunas localidades, troncos fósiles en posición de vida, moldes de raíces arbóreas e icnitas de dinosaurios. Se intercalan, además, extensos y delgados cuerpos tabulares o lenticulares de areniscas finas, de base plana a levemente cóncava, internamente con ondulitas y laminación plana paralela. Estas facies probablemente corresponden a depósitos distales de derrames de hendedura (*crevasse splay*) sobre áreas de planicie de inundación (22). Direcciones de paleocorrientes en esta asociación indican flujos hacia el WSW. El sentido de desplazamiento de dinosaurios ornitópodos y terópodos es hacia el WSW y SW, aproximadamente paralelo a las direcciones del flujo fluvial.

Las icnofacies expuestas en quebrada Chacarilla (Fig.-1) muestran una variada y compleja asociación biológica entre dinosaurios terópodos, saurópodos y ornitópodos, con excelentes evidencias de comportamiento gregario en los dos primeros grupos, y la ocurrencia de impresiones de terópodos más grandes hasta ahora conocidas en Sudamérica (Rubilar y otros, en prep.). Desde el punto de vista estratigráfico, el registro icnológico más importante en la Formación Chacarilla corresponde a grandes pisadas de ornitópodos, con dimensiones promedio de 60x50 cm.

De acuerdo con Lockley et al. (23), este tipo de paleoicnita es característica del Cretácico, debido a que en la evolución de los ornitópodos, las grandes dimensiones, acordes con lo encontrado en Chacarilla, se presentan sólo en este período (ver Rubilar y otros, *este congreso*).

CONCLUSIONES

La posición estratigráfica que ocupa la Formación Chacarilla en su localidad tipo, y unidades cronoestratigráficamente equivalentes expuestas en la precordillera andina, entre Calama y Pica, las sitúan en el rango Jurásico Superior-Cretácico Inferior. La edad máxima de las facies continentales, está indicada por su posición concordante sobre unidades marinas de edad mínima Oxfordiano a Kimmeridgiano (5, 7, 8, 18, 3, 13, 4, 19). Por otra parte, la edad mínima para estas rocas continentales está situada en el Albiano, por encontrarse en contacto intrusivo con diques y tonalitas de 99-94 Ma (14).

Todos estos antecedentes dan cuenta de edades situadas en los límites estratigráficos de las facies continentales y no dentro de éstas. En este contexto, la presencia de icnitas de dinosaurios de grandes ornitópodos en las facies continentales de la Formación Chacarilla, confirman, con seguridad, la presencia del Cretácico Inferior en esta unidad y sus equivalentes estratigráficos.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo es auspiciado y patrocinado por la Subdirección Nacional de Geología de SERNAGEOMIN. Se agradece a Constantino Mpodozis por las sugerencias hechas al texto.

REFERENCIAS

- 1.-Chong, G.D. 1977. Contributions to the knowledge of the Domeyko Range, northern Chile. *Geologisches Rundschau*, Vol. 66, p374-404.
- 2.-Mpodozis, C.; Ramos, V. 1989. The Andes of Chile and Argentina. In *Geology of the Andes and its relations to hydrocarbon and mineral resources* (Ericksen, G.E., Cañas, M.T. and Reinemud, J.A., editors), pp. 59-89. Houston, Texas, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series, Vol. 11. Houston, Texas.
- 3.-Bogdanic, T. 1990. Kontinentale sedimentation der Kreide und des Alttertiars in Umfeld des subduktionsbedingten magmatismus in der chilenischen Prakordillere (21°-23° S). *Berliner Geowissenschaftliche abhandlungen, Reihe A, Band 123*. Berlin.
- 4.-Bogdanic, T. 1991. Evolución paleogeográfica del Cretácico-Terciario Inferior entre los 21°-23° S, Región de Antofagasta, Chile. In *Congreso Geológico Chileno, N° 6, Actas resúmenes expandidos*, p 857-861. Viña del Mar, Chile.
- 5.-Galli, C.; Dingman, R. 1962. Cuadrángulos Pica, Alca, Matilla y Chacarilla. *Carta Geológica de Chile*. Instituto de Investigaciones Geológicas, cartas N° 7,8,9 y 10, escala 1:50.000.
- 6.-García, F. 1967. Geología del norte grande de Chile. In *Simposium sobre el geosinclinal andino*. Sociedad Geológica de Chile. N° 3, 138 p. Santiago, Chile.
- 7.-Vergara, H. 1978. Cuadrángulo Quehuita y sector occidental del Cuadrángulo Volcán Miño. *Carta Geológica de Chile*, escala 1:50.000, N° 32. Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile.
- 8.-Skarmeta, J.; Marinovic, N. 1981. Hoja Quillagua. *Carta Geológica de Chile*, escala 1: 250.000, N°51. Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile.
- 9.-Maksaev, V. 1978. Cuadrángulo Chitigua y sector occidental de cuadrángulo Cerro Palpana. *Carta Geológica de Chile*, escala 1:50.000, N° 31. Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile.
- 10.-Huete, C.; Maksaev, V.; Moscoso, R.; Ulriksen, C.; Vergara, H. 1977. Antecedentes geocronológicos de rocas intrusivas y volcánicas en la Cordillera de los Andes comprendida entre la Sierra de Moreno y el río Loa, y los 21° y 22° lat. sur, II Región, Chile: *Revista Geológica de Chile*, N° 4, p. 35-41.
- 11.-Vergara, H.; Thomas, A. 1984. Hoja Collacagua, región de Tarapacá: Santiago, Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería. *Carta Geológica de Chile* N° 59, p. 79.
- 12.-Boric, R.; Díaz, F.; Maksaev, V. 1990. Geología y yacimientos metalíferos de la Región de Antofagasta: Santiago, Servicio Nacional de Geología y Minería, *Boletín* N° 40 , p. 246.

- 13.-Bogdanic, T. 1991. Correlaciones de unidades del Cretácico-Terciario Inferior entre los 21°-23°S, Región de Antofagasta, Chile. *In* Congreso Geológico Chileno, N° 6, Actas resúmenes expandidos, p 852-856. Viña del Mar, Chile.
- 14.-Hammerschmidt, K.; Döbel, R.; Friedrichsen, H. 1992. Implication of 40Ar/39Ar dating of Early Tertiary volcanic rocks from the north-Chilean Precordillera: *Tectonophysics*, v. 202, p. 55-81.
- 15.-Herbst, R.; Troncoso, A. 1996. La tafoflora de Juan de Morales del Jurásico Medio (Formación Chacarilla), Región de Tarapacá, Chile. *Revista Geológica de Chile*, Vol. 23, N° 1, p 3-16.
- 16.-Galli, C. 1968. Cuadrángulo Juan de Morales, Provincia de Tarapacá 1:50.000. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile No. 18, p. 53.
- 17.-Gröschke, M.; Wilke, H. G. 1986. Lithology and Stratigraphy of Jurassic sediments in the North Chilean Precordillera between 21°30' and 22°S: *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, v. 9/10, p. 1317-1324.
- 18.-Ardill, J.; Flint, S.; Chong, G.; Wilke, H. 1998. Sequence stratigraphy of the Mesozoic Domeyko Basin, northern Chile. *Journal of the Geological Society*, London, Vol. 155, p.71-88.
- 19.-Ladino, M.; Tomlinson, A.; Blanco, N. 1999. New constrains for the age of Cretaceous compressional deformation in the Andes of Northern Chile (Sierra de Moreno, 21°-22°10'S). *In* International Symposium on Andean Geodynamics, N° 4, Resúmenes expandidos, p407-410, Gottingen, Alemania.
- 20.-Allen, J.R.L. 1963. The classification of cross-stratified units, with notes on their origin. *Sedimentology*, Vol. 2, p 93-114.
- 21.-Allen, J.R.L. 1970. Studies in fluvial sedimentation: a comparison of fining-upward cyclothems, with special reference to coarse-member composition and interpretation. *Journal Sediment. Petrology*, Vol. 40, p298-323.
- 22.-Miall, A.D. 1996. The geology of fluvial deposits. *Sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology*, Springer-Verlag, 582 p., Berlin Heidelberg.
- 23.-Lockley, M.G.; Farlow, J.O.; Meyer, C.A. 1994. *Brontopodus* and *Parabrontopodus* ichnogen. *Nov. And* the significance of the wide and narrow gauge sauropod trackways. *Gaia*, Vol. 10, p135-145.
- Rubilar, D.; Moreno, K.; Blanco, N.; Calvo, J., *en prep.* Theropod trackways from the Chacarilla Formation (Upper Jurassic-Lower Cretaceous?), Northern Chile.
- Rubilar, D.; Moreno, K.; Blanco, N. *Este Congreso*. Huellas de dinosaurios ornitópodos en la Formación Chacarilla (Jurásico Superior-Cretácico Inferior), I Región de Tarapacá, Chile.