

LOS MOVIMIENTOS ANDINOS DE GROEBER Y LA EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LOS ANDES CENTRALES DEL SUR

José F. MESCUA¹, Laura GIAMBIAGI¹ y Víctor A. RAMOS²

¹ Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Centro Científico Tecnológico Mendoza, CONICET. Email: jmescua@mendoza-conicet.gob.ar

² Instituto de Estudios Andinos Don Pablo Groeber (IDEAN), FCEyN, Universidad de Buenos Aires – CONICET.

RESUMEN

Uno de los aportes más significativos de Pablo Groeber al conocimiento de los Andes fue su estudio de los movimientos tectónicos asociados al levantamiento de la cordillera. Los datos recogidos por Groeber en más de 40 años de trabajos de campo en los Andes de Neuquén, Mendoza y San Juan fueron sistematizados en un esquema de la evolución andina basado en el concepto de “fases tectónicas” siguiendo en esa época las ideas dominantes de Stille. En este trabajo se analizan las propuestas realizadas por Groeber en función del conocimiento actual. Una lectura atenta de los trabajos de Groeber permite observar que era consciente de las limitaciones del método que utilizaba, debidas a la dificultad para establecer la edad de las unidades y al enfoque litoestratigráfico con el que intentó correlacionar las unidades abarcando áreas lejanas entre sí. Aún con estas limitaciones, pudo identificar la naturaleza episódica de esos levantamientos en sucesivas fases, que marcó un gran avance y constituyó la base para el progreso del conocimiento actual de la evolución tectónica de los Andes Centrales del Sur. La base de datos actual permite descartar la hipótesis simplista que asignaba a una fase diastrófica determinada una edad específica, reconociendo una serie no coetánea de deformaciones episódicas como responsable del levantamiento de los Andes, como lo vislumbrara Groeber con sus cuatro movimientos andinos con sus respectivas fases de diferente intensidad.

Palabras clave: *Levantamiento episódico, fase tectónica, Pablo Groeber, orogenia, Quechua, Incaica*

ABSTRACT

The Andean movements of Groeber and the tectonic evolution of the southern Central Andes

One of Pablo Groeber's most significant contributions to the knowledge of the Andes was his study of the tectonic movements associated with the uplift of the Andean Cordillera. The data collected by Groeber in more than 40 years of fieldwork in the Andes of Neuquén, Mendoza and San Juan were systematized in a scheme of Andean evolution based on the concept of "tectonic phases" following at that time the dominant ideas of Stille. In this paper we analyze the proposals made by Groeber based on our current knowledge. A careful reading of Groeber's work shows that he was aware of the limitations of the method he used, due to the difficulty in establishing the age of the units, and the lithostratigraphic approach with which he tried to correlate the units exposed in distant areas. Even with these limitations, he was able to identify the episodic nature of these uplifts in successive phases, which marked a great advance and constituted the basis for the progress of the current knowledge of the tectonic evolution of the southern Central Andes. The present database allows us to discard the simplistic hypothesis that assigned a specific age to a diastrophic phase, recognizing a non-coeval series of episodic deformations as responsible for the uplift of the Andes, as Groeber anticipated with his four Andean movements with their respective phases of different intensity.

Keywords: *Episodic uplift, tectonic phases, Pablo Groeber, Quechua, Incaic, orogeny*

INTRODUCCIÓN

Los trabajos de Pablo Groeber en los Andes Centrales del sur abarcaron más de 40 años de prolijos levantamientos de campo y un profundo conocimiento de la geología regional. Desde las primeras

publicaciones (Groeber 1918 a y b, 1929) realizó importantes aportes para el conocimiento geológico de la región andina. Sin duda el aporte más valorado de Pablo Groeber al conocimiento de los Andes Centrales del sur fue la sistematización de la estratigrafía en sus ciclos de sedimenta-

ción de acuerdo a las normas internacionales del momento. Como él mismo menciona “*acato la observación de colegas (...) en el sentido de que elabore una nomenclatura uniforme y práctica que se ajuste a las reglas internacionales*” (Groeber 1946, p. 177). A partir de las publicaciones de Gerth (1925, 1931),

Keidel (1925), Weaver (1931), Roth (1908) y Roll (1939), entre otros, y sus observaciones propias, Groeber establece las unidades de la cuenca Neuquina que se siguen utilizando actualmente. En su nomenclatura estratigráfica tiene un fuerte compromiso con la escuela alemana privilegiando las unidades cronoestratigráficas o pisos, pero a la vez tratando de asimilar los conceptos de unidades litológicas de la escuela norteamericana, introduciendo y modificando las formaciones de Weaver (1931). Para analizar la evolución magmática, utiliza además de sus observaciones, las propuestas de Gerth (1925, 1931) y Kittl (1944).

En este trabajo nos enfocaremos en otro gran aporte realizado por Groeber para el conocimiento de los Andes: el trabajo desarrollado para determinar las diferentes etapas de construcción de los Andes de Mendoza, San Juan y el norte de Neuquén, a través del reconocimiento de fases y movimientos que llevaron a su estructura actual mediante levantamientos episódicos y sobreimpuestos.

Con este objetivo se analizarán dos publicaciones en las que resumió sus ideas sobre la evolución andina: las “*Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70*” (Groeber 1946, 1947a y b), y “*La alta cordillera entre las latitudes 34° y 29°30’*” (Groeber, 1951). Según Stipanovic (1969a y b), las “*Observaciones geológicas*” constituyen la culminación de las ideas de Groeber sobre la evolución mesozoica y cenozoica de los Andes de Neuquén y Mendoza. El segundo trabajo citado, que puede considerarse su obra maestra, extiende estas ideas hasta el norte de la provincia de San Juan.

GROEBER Y LAS FASES DE CONSTRUCCIÓN DE LOS ANDES

Para investigar la evolución del levantamiento andino, Groeber parte de un esquema de fases tectónicas basado en la propuesta de Stille (1924). En este esquema, el levantamiento episódico de los distintos cordones montañosos es sincrónico y tendría lugar durante movimientos

de corta duración, separados por etapas tranquilas de sedimentación. El reconocimiento de las fases es obtenido a través del estudio de la estratigrafía y el reconocimiento de discordancias regionales asociadas a etapas de plegamiento o fallamiento. En este sentido, es interesante señalar que Groeber ya había interpretado que las discordancias entre unidades mesozoicas de la cuenca Neuquina “*no tienen mayor significado tectónico, porque se trata solamente de oscilaciones costaneras del mar, sin duda debidas a movimientos oscilatorios del subsuelo, pero que no han dado lugar a plegamientos o fracturaciones de importancia*” (Groeber 1947b, págs. 404-405). Este concepto es firmemente desarrollado en los análisis secuenciales modernos de la cuenca Neuquina, donde diversos autores como Uliana y Biddle (1988), Legarreta y Uliana (1991), entre muchos otros, interpretan por ejemplo a la discordancia intravalanginiana, no como la expresión de una fase compresiva, sino como un importante cambio del nivel del mar. Sin embargo, a pesar de los robustos conceptos de Groeber, vuelven constantemente las ideas de asociar eventos diastróficos a las discordancias entre las unidades mesozoicas previas al Cretácico Tardío (véanse las propuestas de Stipanovic *et al.* 1968, Leanza 2009, entre otras).

El cuadro 1 muestra las fases definidas por Groeber y sus equivalencias con los trabajos de Stille (1924), quien pretendía que podrían ser aplicables globalmente, junto con las fases de Steinmann (1929) desarrolladas para los Andes de Perú, y las definidas en un trabajo más moderno de Yrigoyen (1976) que refinaba el esquema de Groeber para la región del Aconcagua.

La primera etapa orogénica definida por Groeber, denominada “*movimientos intersenonianos*”, de edad cretácica tardía temprana, se caracteriza por una discordancia angular. Por ejemplo para el sur de Mendoza y norte de Neuquén, Groeber reconoce la acción de la fase intersenoniana debido a “*la discordancia, en parte angular que separa el Andico* (n.d.l.a.: Grupos Mendoza y Huitrín) *del Ranquilense o sea del término inferior de la formación del Río Gran-*

de (n.d.l.a.: se refiere al Grupo Neuquén), *y la falta completa de las areniscas diamantianas, más la eliminación parcial del Huitriniano*” (Groeber 1946, p. 204). Este movimiento habría dado lugar a “*la emersión definitiva de la parte netamente cordillerana de la región (...) y el establecimiento de una valla ya no más franqueada por las aguas del Pacífico*” (Groeber 1947b, p. 405). Además, interpreta que estos movimientos habrían deformado y ascendido los Patagónides (Keidel 1921), una cadena montañosa transversal en parte a los Andes y que queda evidenciada a lo largo de la actual dorsal de Huincul por una fuerte discordancia angular (Groeber 1938), la que posteriormente fuera mapeada en detalle en el cerro Lotena por Suero (1951). Si bien Groeber (1946) correlacionaba los movimientos intersenonianos con el Subhercínico de Stille (1924), criticaba esta asignación. Actualmente se reconoce que serían también equivalentes a la fase Peruana de Steinmann (1929). Compárese con el análisis realizado por Tunik *et al.* (2010) a lo largo del margen continental de América del Sur, que confirma la importancia de estos movimientos, no así su sincronismo.

Durante el Cenozoico, Groeber divide la construcción de la Cordillera Principal en cuatro movimientos, determinando su edad en base a las unidades afectadas por cada uno (Groeber 1946, 1947a, b, c, 1951). El primer movimiento sería previo al Mollelitense, lo que lo ubica en el Eoceno, y sería responsable de la mayor deformación en la cordillera mendocina, produciendo el “*cuadro tectónico de plegamiento fuerte*” que hacía el norte del río Mendoza es sustituido por “*corrimiento de cobijaduras*” (Groeber 1947b, 1951). Se correspondía a las fases Larámica y Pirenaica de Stille (1924) y al final de la fase Peruana y a la fase Incaica de Steinmann (1929).

El segundo movimiento, posterior al Mollelitense y anterior al Palaocolitense, se caracterizaba por fallamiento y plegamiento. Corresponde a las fases Sávida y Estaírica de Stille (1924) y al inicio de la fase Quechua de Steinmann (1929). Según Groeber (1951), se divide en tres fases: la primera, ubicada en el límite Oli-

goceno-Mioceno, sería responsable de la “creación de la cordillera patagónica, importantes ascensos, elaboración de un relieve de serranía en la cordillera” (Groeber 1951, p. 275). La segunda, miocena temprana, habría producido “alguna elevación y erosión” (Groeber 1951, p. 275). La tercera, del Mioceno medio, estaría señalada por “una merma importante en la deposición de complejos eruptivos y sedimentarios en la cordillera” (Groeber 1951, p. 275).

El tercer movimiento estaría compuesto por una pre-fase entre el Mioceno y el Plioceno, evidenciada por una discordancia de las rocas pliocenas con el yacente, y una fase principal post-pliocena que habría aumentado la elevación general de la región sin producir nuevos rasgos en la Cordillera Principal. También sería responsable del ascenso de la Cordillera Frontal (Groeber 1951). Este movimiento correspondería a las fases Ática y Rodánica de Stille (1924) y estaría incluido dentro de la fase Quechua de Steinmann (1929).

Según Groeber, el cuarto movimiento actuó intensamente para producir la ascensión en masa de la cordillera durante el Cuaternario (Groeber 1951).

EL PROBLEMA DE LA EDAD DE LAS UNIDADES

Uno de los problemas mayores que Groeber debió enfrentar fue la incertidumbre en cuanto a la edad de las unidades no fosilíferas. Al no disponer de dataciones radimétricas, debió conformarse con un enfoque litoestratigráfico para correlacionar las unidades volcánicas y los sedimentos sinorogénicos cenozoicos, con las limitaciones propias de este método.

Uno de los ejemplos más claros de esto es la unidad que Groeber denomina “Chilelítico”. En las “Observaciones Geológicas a lo largo del Meridiano 70”, esta denominación es utilizada para volcanitas del Jurásico Superior que afloran al oeste de la faja plegada y corrida de Malargüe (Kozłowski *et al.* 1993), sobre la frontera con Chile (actual Formación Río Damas, Klohn 1960), si bien reconocía que

CUADRO 1: Fases de construcción de los Andes según diferentes autores.

Edad	Stille (1924)	Steinmann (1929)	Groeber (1951)	Yrigoyen (1976)
Cuaternario	Fase Waláquica	Fase Quechua	Cuarto Movimiento	
Mioceno tardío	Fase Ática		Tercer Movimiento Terciario	Fase Quechua
Oligoceno a Mioceno medio	Fases Sávia y Estáirica		Segundo Movimiento Terciario	Fase Pehuenche
Eoceno medio a tardío	Fase Pirenaica	Fase Incaica	Primer Movimiento Terciario	Fase Incaica
Paleoceno	Fase Larámica	Fase Peruana	Movimientos Intersenonianos	Fase Larámica
Cretácico tardío	Fase Subhercínica			Movimientos Intersenonianos

podrían extenderse también al Cretácico (Groeber 1947a y c). El intento de prolongar esta unidad hacia el norte de Mendoza a partir de las observaciones de Schiller (1912) y González Bonorino (1950) se dificulta por la complejidad estratigráfica y estructural de esta región (Fig. 1), en la que pueden encontrarse volcanitas similares litológicamente pero que corresponden a edades diferentes. Esto llevó a Groeber (1951) a incluir en esta unidad rocas más jóvenes, concluyendo que la edad del Chilelítico debe ser posterior a sus movimientos intersenonianos y por lo tanto cretácica tardía o más joven. Posteriormente, en los trabajos de Aguirre Le Bert (1960) y Braccacini (1964) se reconoció que una supuesta intercalación sedimentaria dentro del Chilelítico, que Groeber (1951) denominó Cuevense, correspondía en realidad a una escama de corrimiento que levanta rocas sedimentarias jurásicas y cretácicas; por lo que Yrigoyen (1976) las interpretó como pertenecientes al Rocanense. Sin embargo, Ramos *et al.* (1996) observaron amonites valanginianos en horizontes calcáreos intercalados dentro de la secuencia volcánica, por lo que la edad de dicha secuencia volcánica quedó determinada como cretácica inferior. La falta de certeza sobre la edad del Chilelítico es señalada por Groeber: “Se impone la búsqueda de fósiles en el Cuevense y en las capas de los Baños del Flaco, ambas oportunamente intercaladas entre el Chilelítico, para resolver la cuestión de su edad sobre base paleontológica” (Groeber 1951, p. 291). Es interesante destacar que los fósiles de Baños del Flaco mostraron que Groeber hizo una co-

relación correcta, dado que corresponden al Titoneocomiano (Covacevich *et al.* 1976). Es necesario remarcar que recién en tiempos recientes, con la obtención de edades radimétricas, pudo comenzar a reconocerse la edad de las rocas cretácicas y cenozoicas en este sector de la faja plegada y corrida del Aconcagua (Jara y Charrier 2014), las cuales habían sido incluidas por Groeber en el Chilelítico junto con las rocas jurásicas que había observado en el sur de Mendoza por su similitud litológica.

La problemática del Chilelítico abarcó también la edad de las volcanitas del cerro Aconcagua, incluidas en esta unidad por Groeber (1951). Posteriormente, con el avance del conocimiento de la región, Yrigoyen (1976) recomienda descartar la denominación “Chilelítico” y correlaciona a las volcanitas del Aconcagua con la Formación Abanico aflorante en Chile, manteniendo una edad supracretácica para ambas. Recién a partir de las dataciones K-Ar realizadas por Ramos *et al.* (1985, 1996) y Godoy *et al.* (1988) pudo establecerse la edad miocena de este conjunto (14-8 Ma). Las sucesiones cenozoicas, tanto sedimentarias como ígneas, también fueron problemáticas por la dificultad para determinar su edad y realizar correlaciones. El cuadro 2 presenta las unidades definidas por Groeber para los “terrenos terciarios”, las edades que asignó a cada una y las localidades principales en las que afloran (según el resumen presentado en Groeber 1951). Nuevamente, el intento de correlacionar las unidades a partir de un esquema basado en criterios litoestratigráficos impidió la correcta

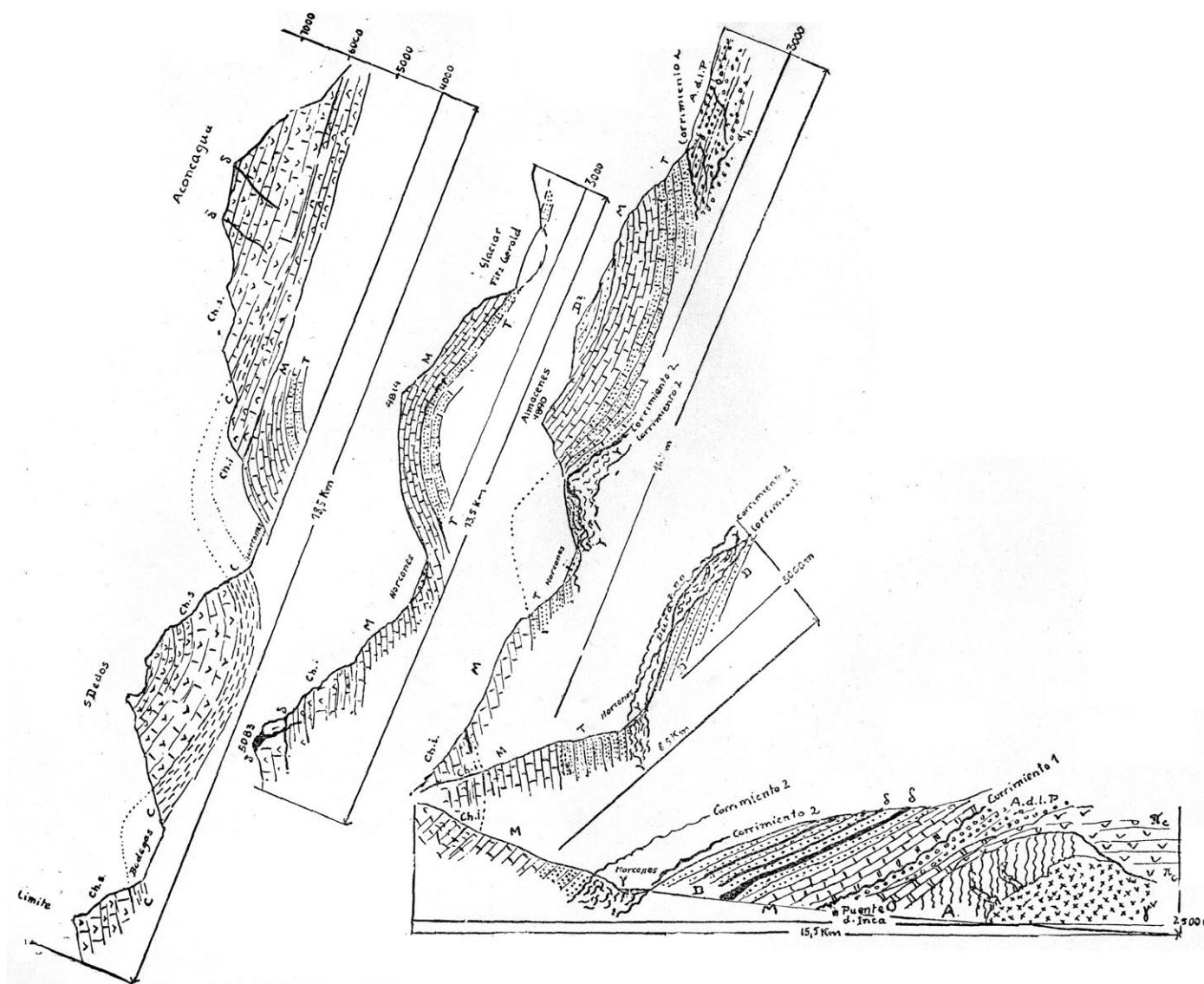


Figura 1: Secciones estructurales de la Cordillera Principal entre el límite internacional y Puente del Inca realizadas por Groeber (1951).

determinación de las edades, llevando a atribuir también edades erróneas a la deformación. Por ejemplo, trabajos recientes han demostrado que la sucesión de las “capas de Agua de la Piedra” (actual Formación Agua de la Piedra) son en realidad miocenas (Nullo *et al.* 2002, Irigoyen *et al.* 2000, Buelow *et al.* 2014, Horton *et al.* 2016).

Algunas de sus observaciones sugieren que Groeber era consciente de las limitaciones de las correlaciones realizadas, por ejemplo cuando describe las rocas aflorantes en el arroyo La Leona y el cordón del Espinacito en la provincia de San Juan. Groeber comenta que “el comportamiento tectónico y la relación estructural del gru-

po de sedimentos concuerdan tanto como su composición con los de Santa María y de Tunuyán, de manera que sin duda son homólogos hasta en su mayor parte contemporáneos. La única diferencia parece existir en que su deposición no haya empezado al mismo tiempo y en que su expansión regional haya tenido lugar después que las depresiones orográficas preexistentes hayan sido rellenadas por los primeros productos de acarreo” (Groeber 1951, págs. 303-304). Las edades erróneas asignadas a algunas de estas unidades tienen importantes consecuencias para la determinación de la edad de las fases tectónicas definidas. Por ejemplo, en el sector del Aconagua, al asignar una edad cretácica superior a las volcanitas del cerro Aconagua, dispuestas en

discordancia sobre la sucesión mesozoica plegada y fallada, infiere que la deformación principal del sector correspondió a la fase intersenoniana del Cretácico (cuadro 1). En cambio, la edad miocena media determinada para las volcanitas sugiere que la deformación fue miocena temprana, como se acepta actualmente (Ramos *et al.* 1996, Vicente 2005).

COMPARACIÓN ENTRE LA CORDILLERA AL NORTE Y AL SUR DE LOS 34°S

Groeber destaca que los Andes del norte de Mendoza y sanjuaninos se distinguen de la región ubicada más al sur por

CUADRO 2: Principales unidades cenozoicas definidas por Groeber y sus localidades (según Groeber, 1951).

Edad	Unidades sedimentarias	Localidades principales	Unidades ígneas	Localidades principales
Pleistoceno			Coyocholitense	Arroyo Coyochoco, Zapala, cerros Risco Plateado, Sosneado, Listado-Borboldón, Overo, Marmolejo, San Juan
Plioceno	Tristecense	Cuchilla de la Tristeza, cajón del Molle, cajón del León, sierra de Reyes, Ranquil Norte, sierra de Huantraico, cajón de Molina, arroyos Moro, Carrizalito, río Tupungato, cerro Penitentes, Vacas Heladas, La Sepultura	Huincanlitense	Puntilla de Huincán, Cuchilla de la Tristeza, Las Aucas, río Diamante, arroyos Bravo, del Gorro, río Palomares, laguna Diamante, paso de la Deidad
Mioceno tardío	Arauco-Entrerriense y Santamariense	Cuchilla de la Tristeza, Las Aucas, sierra de Palauco, cajón de Molina, valle del Cura		
Mioceno medio	Colloncurenses superior	Mallín de la Mocha, sierra de Palauco, Agua Botada, sierra de Buta Mallín, Casa Pincheira, cerro Palomares	Palaocolitense superior	Sierra de Palauco, arroyo Tordillo, cerros Amarillos, río Pehuenche, cajón Grande, arroyo Deshecho, valle Hermoso, Los Morros, cerro Las Leñas, cerro Palomares
Mioceno temprano	Colloncurenses inferior		Palaocolitense inferior, Trafulitense	
Oligoceno	Patagonense, Santacrucense, estratos de Agua de la Piedra	Cuchilla de la Tristeza, cerro Palomares, cerro Penitentes, cordón del Espinacito, Cacheuta	Mollelitense	Cajón del Molle cerros Negro, Mayal, Caicayén, Las Choicas, arroyos Lágrimas, Gateado, del Gorro, cajón del Perdido, sierra de Palauco, portezuelo Loncoche, cerro Tronquimalal, valle Hermoso, cerro Palomares, río Mendoza
Eoceno	Rodados Lustrosos, Balsense	Cuchilla de la Tristeza, Cacheuta		

el gran desarrollo de la Cordillera Frontal, la marcada reducción en “el ancho de la faja ocupada por los estratos jurásico-andínicos”, y porque “salvo pocas excepciones los terrenos terciarios desaparecen a la par de los terrenos volcánicos cuaternarios” (Groeber 1951, p. 278).

En la región del Aconcagua reinterpreta al paquete sedimentario-volcánico mesozoico de 4.000 m de espesor, previamente descrito por Schiller (1912) y González Bonorino (1950), como un paquete de menor espesor, formado por el Yeso Principal (Formación Auquilco), el Tordillense (Formación Tordillo) y el Mendociano (Grupo Mendoza). Este paquete estaría repetido por diversos corrimientos, como fuera ya señalado por Schiller (1912).

A su vez resalta que el Chilelitense inferior (sucesión volcánicoclastica miocena inferior de la Formación Santa María) se encuentra en fuerte discordancia angular sobre las capas mesozoicas plegadas y falladas, y “muestra ángulos de inclinación de pocos grados y una ondulación suave”. Esto lo lleva a proponer “una época de intenso plegamiento en tiempo inmediatamente anterior a la acumulación” de esta unidad (Groeber 1951, p. 290). La falta de dataciones radimétricas de lo que denominó como Chilelitense inferior, asig-

nada al Cenomaniano medio a superior, lo llevan nuevamente a proponer “la intensa afección tectónica del Jurásico-Andino al movimiento intersenoniano... y al Chilelitense una edad riográndica, o senoniana media y superior” (Groeber 1951, p. 291).

En la región del Marmolejo, correlaciona al Conglomerado Tunuyán (Fig. 2), descrito por Armando (1949) y Pascual (1949), con el Conglomerado Santa María de Schiller en la región del Aconcagua, y los del valle de Uspallata y Precordillera en la zona de Rodeo. Hacia el norte, en el río Vacas Superior, se prolonga con “un espesor muy disminuido por erosión” (Groeber 1951, p. 302). En la región del Espinacito, homologa estos depósitos sedimentarios con los que actualmente se conocen como Formación Chinchas. Sin embargo, los diferencia por su edad, ya que “su depositación no ha empezado al mismo tiempo” (Groeber 1951, p. 304), y señala que los sedimentos del río de los Patos en la región del Espinacito rellenaron “depresiones orográficas preexistentes” (Groeber 1951, p. 304).

Una observación destacable es la que realiza con respecto a las cuencas intermontanas de la Precordillera. En esta región, sus descripciones le permiten señalar la existencia de un relieve previo, con la ge-

neración de “una quebrada de pendientes rocosas y empinadas... sepultados por una serie de sedimentos”. Si bien correlaciona estos depósitos con los de las cuencas neógenas del sur, señala que los de la Precordillera, especialmente los de la quebrada de Ullún, Zonda y Matagusanó, serían más jóvenes: “Con ello quedaría nuevamente atestiguado de que el comienzo de la sedimentación terciaria varía de lugar de acuerdo a la mayor o menor elevación que ostentaba el relieve que fue colmatando y sepultando” (Groeber 1951, p. 312).

Sus observaciones sobre la geología regional lo llevan a señalar que “el plegamiento que, salvo complicaciones locales, disminuye de sur a norte rápidamente, y está sustituido en las hojas Aconcagua norte y la Ramada por inclinación monoclinas” (Groeber 1951, p. 320). Para Groeber, los corrimientos de la Cordillera Principal pertenecen al primer movimiento terciario ya que “son anteriores a la iniciación de la sedimentación terciaria que no podría haber perdurado, digamos normalmente sin grandes interrupciones...”. Asimismo destaca que el Huincanlitense, de edad infra-pliocena, se encuentra, en algunos sectores, en discordancia angular sobre “el conjunto mesozoico perturbado”; tal como en la zona del arroyo del

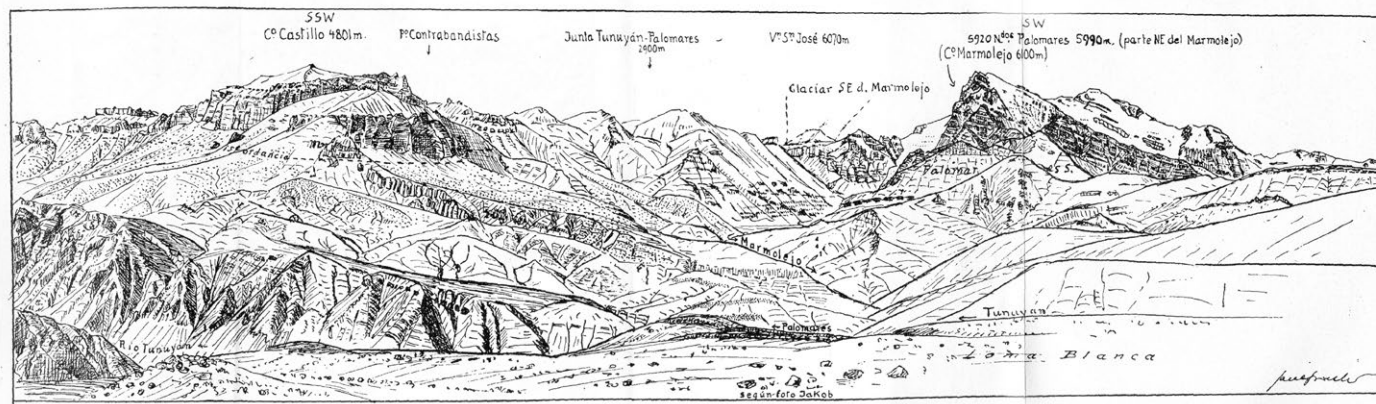


Figura 2: Panorama del río Palomares (vista al sur). El dibujo muestra la ubicación del Conglomerado Tunuyán en discordancia sobre rocas paleozoicas y cretácicas (Groeber 1951). Es un ejemplo de la calidad de las ilustraciones que acompañaron las publicaciones de Groeber.

Gorro en las cercanías del Volcán Maipo, o sobre el corrimiento que pone a las capas mesozoicas sobre los estratos terciarios, en la zona del Palomares (Figs 3 y 4). Por estas observaciones deduce que los corrimientos del sector del Palomares corresponden a la pre-fase del tercer movimiento. El suave plegamiento de las capas del Huincalicense le sugiere que son el resultado de la fase principal del tercer movimiento.

Señala tres etapas a partir de la relación entre la deformación de las cordilleras Frontal y Principal y la sedimentación terciaria, como puede observarse en la figura 3: (a) la sedimentación terciaria cubrió en discordancia angular al basamento pre-jurásico y a las capas sedimentarias mesozoicas. (b) después de dicha sedimentación “tuvo lugar un movimiento ascendente que permitió una reavivación de la erosión que destruyó una parte de los depósitos terciarios” (Groeber 1951, p. 324). Parte del Conglomerado de Santa María fue incorporado dentro de las escamas tectónicas que afectaron a las capas mesozoicas. (c) Aumenta la inclinación al oeste de la Cordillera Frontal y “con ella la de los estratos “calchaquíes” superpuestos”.

El hecho de que los depósitos eoceno-miocenos se conecten a lo largo del eje cordillerano, entre los 36° y 29°S, sin interrupción y posean un espesor constante entre 2700 y 2900 m, lo llevan a proponer la existencia de una cuenca de profundidad considerable en el lugar que hoy ocu-

pa la Cordillera Frontal y el sector oriental de la Cordillera Principal, y “una cierta elevación sobre el mar” de la Cordillera Principal en el sector chileno, “requerida también para la época del grupo superior del Agua de la Piedra, que contiene grandes bloques procedentes de la zona de los depósitos mesozoicos..”. “Desde fines del Mioceno se fecha la aparición decidida de la Cordillera Frontal y de la Cordillera Principal contigua... El ascenso mayor correspondió a su lado oriental, siendo todo el conjunto andino volcado al W” (Groeber 1951, p. 325).

LOS APORTES DE GROEBER A LA LUZ DEL CONOCIMIENTO ACTUAL

Más allá de las limitaciones debidas a las técnicas disponibles en la primera mitad del siglo XX, las observaciones e interpretaciones de Groeber sentaron la base sobre la cual se desarrollaron los estudios de la evolución tectónica de los Andes. Muchas de sus ideas mantienen vigencia actualmente, como el desarrollo de los movimientos intersenonianos en Neuquén y el sur de Mendoza (Cobbold y Rossello 2003, Tunik *et al.* 2010, Rojas Vera *et al.* 2015, Fennell *et al.* 2015). En otros sectores, la edad de la deformación andina fue modificada a partir de la obtención de edades radimétricas en las rocas cenozoicas, como en el sector del cerro Aconcagua (Ramos *et al.* 1985, Godoy *et al.* 1988), Cacheuta (Irigoyen *et al.* 2000,

Buelow *et al.* 2014) y el sur de Mendoza (Nullo *et al.* 2002, Horton *et al.* 2016). Sin embargo, se observa en toda la obra de Groeber y la de los otros pioneros que lo antecedieron, un concepto que dominaba en esa época y que fuera expresado específicamente por los trabajos de Stille (1924). En esos tiempos se asumía que los diastrófismos eran coetáneos en todas las cadenas montañosas y que su datación, aunque sea bioestratigráfica para esa época, permitía circunscribir la edad de los mismos y correlacionarlos entre los diferentes orógenos en distintos continentes. Ese concepto perduró durante la teoría geosinclinal y fue llevado a su máxima expresión por Auboin (1964) en su famosa síntesis “The Geosynclines”. Con el advenimiento de la tectónica de placas, en forma simultánea con los avances tecnológicos que permitieron efectuar dataciones precisas de las rocas volcánicas y piroclásticas, comenzó a desmoronarse la sincroneidad de estas fases o movimientos. Las primeras dataciones de diferentes localidades donde se observaban las discordancias angulares producidas por las fases Incaica y Quechua, de acuerdo a la definición de Steinmann (1929), en el sector norte de los Andes Peruanos presentadas por Noble *et al.* (1974, 1985) y Mégard *et al.* (1984) permitieron distinguir dos fases incaicas. Esto fue confirmado y aumentado en dos fases incaicas (50-39 Ma) y tres quechuas (20-10 Ma) con dataciones más precisas (Noble *et al.* 1990). En el sur de Perú se comenzaron a

distinguir diferentes fases como la Quechua 1, Quechua 2, Quechua 3..., llegando a reconocerse hasta cuatro fases Quechua en el norte de Bolivia y tres en el sur de Perú, gran parte de ellas diacrónicas y con diferentes edades absolutas; lo mismo acontecía con la fase Incaica, donde se reconocieron un número cada vez mayor de fases (Sandeman *et al.* 1995). Eso llevó en pocos años a generar un sinnúmero de fases, casi tantas como dataciones precisas se disponía.

Algunos de los conceptos establecidos por Steinmann (1929) seguían teniendo vigencia, como por ejemplo que la orogenia Incaica era el diastrofismo principal formador de los Andes Peruanos, en comparación con la Quechua en esta región de los Andes. Esto fue explicado por la relación entre el vector de convergencia paleógeno y el neógeno con el margen continental peruano (Ramos 1988, Mpodzis y Ramos 1989), relación opuesta a la que se observa con el margen chileno, donde los efectos de la orogenia Quechua son mayores.

Los trabajos subsiguientes realizados tanto en los Andes Centrales como en los más australes, reconocieron que las discordancias angulares que representan a estas fases no tienen esencialmente edades similares y que la magnitud de este diacronismo depende de la precisión de las dataciones utilizadas. Sin embargo, a partir de los trabajos de Pardo Casas y Molnar (1987), se hizo evidente la existencia de períodos de inestabilidad tectónica que se intercalaban con períodos de tranquilidad (quiescence). Estos autores reconocieron en la parte media del Paleógeno altas velocidades de convergencia que asociaron a los movimientos incaicos, con un período similar a partir del Mioceno inferior que asociaron a los movimientos quechuas. Este reconocimiento de períodos de actividad no tiene relación alguna con las antiguas ideas que se expresaban con fases sincrónicas y casi instantáneas que se podían seguir a lo largo de los orógenos y entre diferentes cadenas montañosas. En nuestros días hay un consenso generalizado en que la velocidad absoluta de la placa cabal-

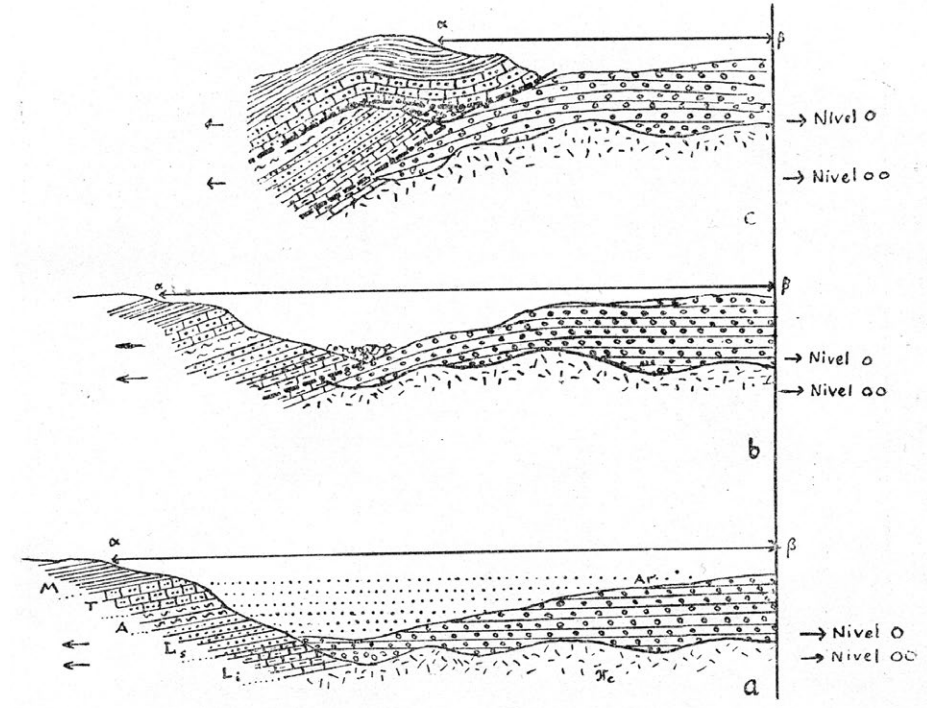


Figura 3: Etapas de construcción del frente orogénico de la faja plegada y corrida del Aconcagua (límite entre Cordillera Principal y Frontal) según Groeber (1951).

gante, expresada como tasa de cabalgamiento (override rate) (Schellart 2008, Maloney *et al.* 2013), o la velocidad positiva del retroceso de la trinchera (positive trench roll-back) (Daly 1989, Ramos 2000, 2010), es el control más importante que condiciona principalmente el régimen tectónico. A este factor hay que agregarle el estado rheológico de la corteza, la que ante fenómenos de delaminación cortical o remoción litosférica, pueden gatillar la deformación compresiva (véase Ramos 2009).

Hoy sabemos que en el desplazamiento de los continentes hay períodos de reorganización de placas, donde éstas se detienen y no hay actividad tectónica, con períodos de libre desplazamiento con gran velocidad de convergencia que afecta casi globalmente a una cantidad de placas diferentes (véase Dickinson 2009). Es sobre esta base que se puede hablar en forma amplia tanto de movimientos incaicos u orogenia incaica como de movimientos quechuas u orogenia quechua, pero no reconociendo en ellos fases sincrónicas que puedan ser correlacionadas a lo largo del orógeno o entre diferentes

orógenos.

Se debe tener presente además que los períodos de inestabilidad tectónica, que generan los movimientos orogénicos, más que fases tectónicas tienen deformaciones intermitentes, que van variando de un lugar a otro de acuerdo a la reología y estado térmico de las rocas involucradas. Basta tener presente que por ejemplo la faja plegada y corrida del Aconcagua tuvo una tasa media de acortamiento orogénico mínimo en los últimos 20 Ma de 4 a 5 mm/a, del mismo rango que la tasa de deformación cuaternaria y aun similar a la registrada por GPS en los últimos 10 años (Ramos 2009).

CONSIDERACIONES FINALES

El análisis de los aspectos tectono-estratigráficos de la obra de Groeber, una vez más pone de manifiesto que fue un agudo observador de la estructura de la Cordillera de los Andes y de los diferentes movimientos que llevaron a su ascenso, con una precisión a veces notable, a pesar de la ausencia de datos geocronológicos de

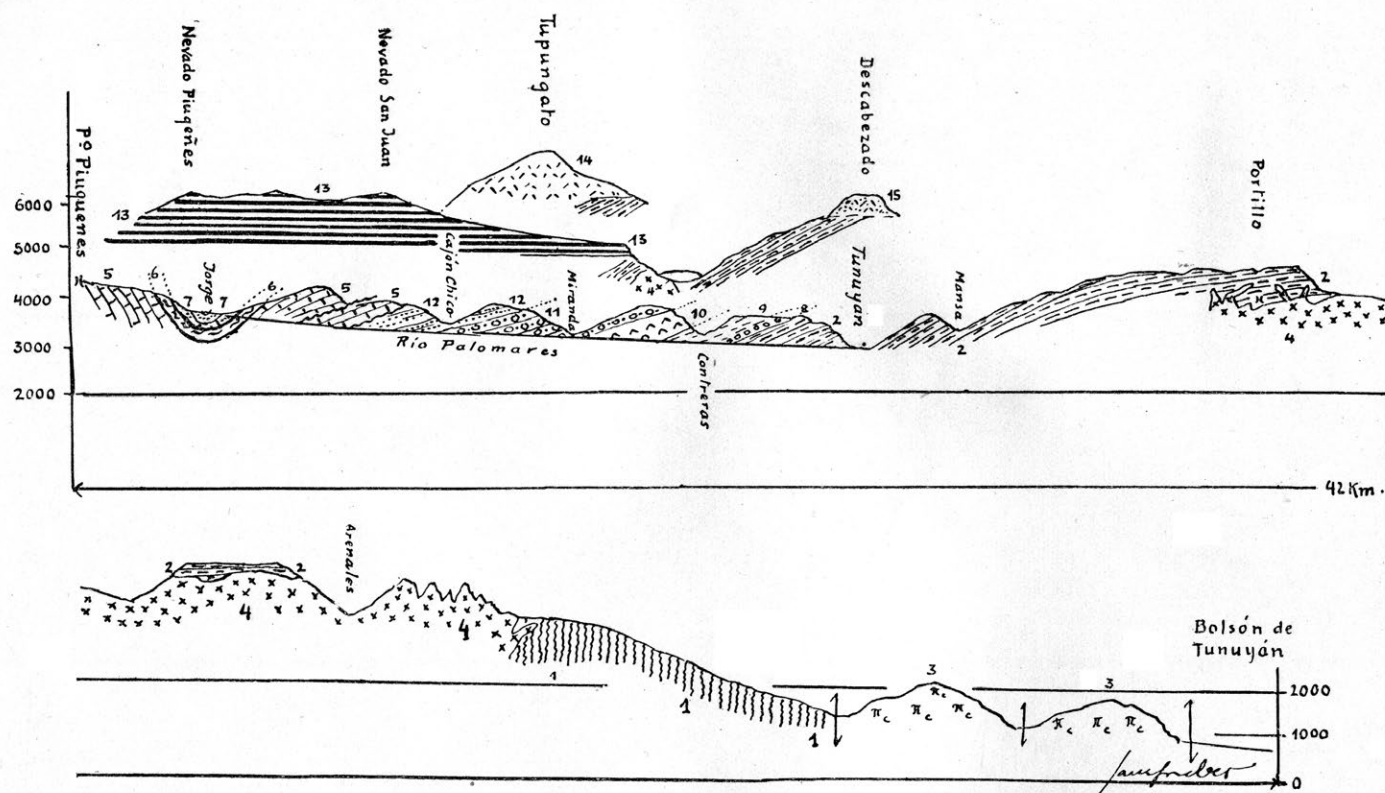


Figura 4: Perfil transversal a los Andes a la latitud del paso Piuquenes, mostrando la interpretación de las estructuras a lo largo del río Palomares entre el límite internacional y el bolsón de Tunuyán (Groeber 1951).

la época. Esa percepción estaba basada en una extraordinaria experiencia de campo con trabajos de largos meses de campaña, inaccesible en los cánones actuales, combinada con una mente brillante, plena de interpretaciones novedosas. Observaciones tales como las discordancias entre unidades mesozoicas “no tienen mayor significado tectónico, porque se trata solamente de oscilaciones costeras del mar, sin duda debidas a movimientos oscilatorios del subsuelo” se anticiparon a los modernos conceptos vigentes del análisis secuencial, y son aún un fuerte llamado de atención para algunas propuestas recientes de diastrofismos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los árbitros Lucas Fennell y Guido Gianni por su completa revisión y crítica realizadas al presente manuscrito. Esta es la contribución R-209 del Instituto de Estudios Andinos Don Pablo Groeber.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aguirre Le Bert, L. 1960. Geología de los Andes de Chile Central, provincia de Aconcagua. Boletín del Instituto de Investigaciones Geológicas 9: 1-70, Santiago.
- Armando, V. 1949. Observaciones geológicas en la cordillera de Mendoza, Departamento Tunuyán, entre el río Palomares y el cordón del Marmolejo al norte del río Tunuyán. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales, Tesis Doctoral 140 (inédita), La Plata.
- Auboin, J. 1965. Geosynclines. Developments in Geotectonics 1: 1-335, Elsevier.
- Braccacini, O. 1964. Geología estructural de la zona cordillerana de Mendoza y Neuquén, República Argentina. Contrato No. 1103, Dirección General de Fabricaciones Militares, Informe 14, 220 p., Buenos Aires.
- Buelow, E.K., Suriano, J., Mahoney, J.B., Mesca, J.F., Giambiagi, L.B. y Kimbrough, D.L. 2014. Stratigraphic analysis of the Neogene Cacheuta Basin: a record of orogenic exhumation and basin inversion in the South Cen-

tral Andes. Geological Society of America Annual Meeting, Conference Proceedings. GSA Abstracts with Programs 46(6): Paper 143-10.

- Cobbold, P. y Rossello, E. 2003. Aptian to Recent compressional deformation in the foothills of the Neuquén basin Argentina. Marine and Petroleum Geology 20: 429-443.
- Covacevich, V., Varela, J. y Vergara, M. 1976. Estratigrafía y sedimentación de la Formación Baños del Flaco al sur del Río Tinguiririca, Cordillera de los Andes, Provincia de Curicó, Chile. 1º Congreso Geológico Chileno, Actas 1(A): 191-212, Santiago.
- Daly, M. 1989. Correlations between Nazca/Farallon plate kinematics and forearc evolution in Ecuador. Tectonics, 8(4): 769-790.
- Dickinson, W.R. 2009. Anatomy and global context of North American Cordillera. En Kay, S.M., Ramos V.A. y Dickinson, W. (eds.) Backbone of the Americas: Shallow Subduction, Plateau Uplift, and Ridge and Terrane Collision. Geological Society of America, Memoir 204: 1-30.
- Fennell, L.M., Folguera, A., Naipauer, M., Gian-

- ni, G., Rojas Vera, E., Bottesi, G. y Ramos, V.A. 2015. Cretaceous deformation of the southern Central Andes: synorogenic growth strata in the Neuquén Group (35° 30'–37° S). *Basin Research*. DOI: 10.1111/bre.12135.
- Gerth, E. 1925. Estratigrafía y distribución de los sedimentos mesozoicos en los Andes argentinos. *Academia Nacional de Ciencias, Actas* 9(1): 11-55, Córdoba.
- Gerth, E. 1931. La estructura geológica de la Cordillera argentina entre el río Grande y río Diamante en el sur de la provincia de Mendoza. *Academia Nacional de Ciencias, Actas* 10(2): 125-172. Córdoba.
- Godoy, E., Harrington, R., Fierstein, J. y Drake, R. 1988. El Aconcagua, parte de un volcán mioceno? *Revista Geológica de Chile* 15: 167-172.
- González Bonorino, F. 1950. Geologic cross-section of the Cordillera de Los Andes at about parallel 33°SL. (Argentina and Chile) *Geological Society of America, Bulletin* 61: 17-86.
- Groeber, P. 1918a. Estratigrafía del Dogger en la República Argentina. Estudio sintético comparativo. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Boletín 18 Serie B, (Geología): 1-81, Buenos Aires.
- Groeber, P. 1918b. Edad y extensión de las estructuras de la cordillera entre San Juan y Nahuel Huapi. *Physis* 1: 17.
- Groeber, P. 1929. Líneas fundamentales de la geología del Neuquén, sur de Mendoza y áreas adyacentes. Dirección General de Minería, Geología e Hidrología, Publicación 58: 1-110, Buenos Aires.
- Groeber, P. 1938. Mineralogía y Geología. *España-Calpe Argentina*, 492 p., Buenos Aires.
- Groeber, P. 1946. Observaciones geológicas a lo largo del Meridiano 70. I- Hoja Chos Malal. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 1: 177-208.
- Groeber, P. 1947a. Observaciones geológicas a lo largo del Meridiano 70. II- Hojas Sosneao y Maipo. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 2: 142-176.
- Groeber, P. 1947b. Observaciones geológicas a lo largo del Meridiano 70. III- Hojas Domuyo, Mari Mahuida, Huahuar Co y parte de Epu Lauken. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 2: 347-433.
- Groeber, P. 1947c. Observaciones geológicas a lo largo del Meridiano 70. IV- Hojas Bardas Blancas y Los Molles. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 2: 409-433.
- Groeber, P. 1951. La Alta Cordillera entre las latitudes 34° y 29°30'. Instituto Investigaciones de las Ciencias Naturales. Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, *Revista (Ciencias Geológicas) I*(5): 1-352, Buenos Aires.
- Horton, BK., Fuentes, F., Boll, A., Starck, D., Ramírez, S.G. y Stockli, D.F. 2016. Andean stratigraphic record of the transition from backarc extension to orogenic shortening: A case study from the northern Neuquén Basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 71:17-40.
- Irigoyen, M.V., Buchan, K.L. y Brown, R.L. 2000. Magnetostratigraphy of Neogene Andean foreland-basin strata, lat 33°S, Mendoza province, Argentina. *Geological Society of America Bulletin* 112: 803-816.
- Jara, P. y Charrier, R. 2014. Nuevos antecedentes estratigráficos y geocronológicos para el Meso-Cenozoico de la Cordillera Principal de Chile entre 32° y 32°30'S: Implicancias estructurales y paleogeográficas. *Andean Geology* 41: 174-209.
- Keidel, J. 1921. Sobre la distribución de los depósitos glaciares del Pérmico conocidos en la Argentina y su significación para la estratigrafía de la serie del Gondwana y la paleogeografía del Hemisferio Austral. *Academia Nacional de Ciencias, Boletín* 25: 239- 368, Córdoba.
- Keidel, J. 1925. Sobre la estructura tectónica de las capas petrolíferas en el oriente del Territorio del Neuquén. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Publicaciones 8: 1–67. Buenos Aires.
- Kittl, E. 1944. Estudios geológicos y petrográficos sobre los volcanes de la región cordillerana del sur de Mendoza y del grupo del Descabezado. *Anales del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 41: 71-192, La Plata.
- Klohn, C. 1960. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, Provincias de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín 8, 1-95, Santiago.
- Kozłowski, E., Mancada, R. y Ramos, V.A. 1993. Estructura. En V.A. Ramos (ed.) *Geología y Recursos Naturales de Mendoza*, 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Mendoza), *Relatorio* 1(18): 235-256, Buenos Aires.
- Leanza, H.A. 2009. Las principales discordancias del Mesozoico de la Cuenca Neuquina según observaciones de superficie. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, n.s.*, 11(2): 145-184.
- Legarreta, L. y Uliana, M.A. 1991. Jurassic-Cretaceous marine oscillations and geometry of back-arc basin fill, central Argentine Andes. En McDonald, D. (ed.) *Sedimentation, Tectonics and Eustasy*. International Association of Sedimentology, Special Publication 12: 429-450, London.
- Maloney, K.T., Clarke, G.L., Klepeis, K.A. y Quevedo, L. 2013. The Late Jurassic to present evolution of the Andean margin: Drivers and the geological record. *Tectonics* 32(5): 1049-1065.
- Mégard, F., Noble, D.C., McKee, E.H. y Bellon, H. 1984. Multiple pulses of Neogene compressive deformation in the Ayacucho intermontane basin, Andes of central Peru. *Geological Society of America, Bulletin* 95: 1108-1117.
- Mpodozis, C. y Ramos, V.A. 1989. The Andes of Chile and Argentina. En Erickson, G.E., Cañas Pinochet, M.T. y Reinemud, J.A. (eds.) *Geology of the Andes and its relation to Hydrocarbon and Mineral Resources*, Circumpacific Council for Energy and Mineral Resources, *Earth Sciences Series* 11: 59-90, Houston.
- Noble, D., McKee, E.H., Farrar, E. y Petersen, U. 1974. Episodic cenozoic volcanism and tectonism in the Andes of Perú. *Earth and Planetary Science Letters* 21: 213-220.
- Noble, D., Sebrer, M., Mégard, F. y McKee, E.H. 1985. Demonstration of two pulses of Paleogene deformation in the Andes of Perú, *Earth and Planetary Science Letters* 73: 345- 349.
- Noble, D., McKee, E.H., Mourier, T. y Mégard, F. 1990. Cenozoic stratigraphy, magmatic activity, compressive deformation, and uplift in northern Peru, *Geological Society of America, Bulletin* 102: 1105-1113.
- Nulló, F.E., Stephens, G.C., Otamendi, J. y Baldauf, P.E. 2002. El volcanismo del Terciario superior del sur de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 57, 119-132.
- Pardo Casas, F. y Molnar, P. 1987. Relative motion of the Nazca (Farallon) and South American Plates since Late Cretaceous time.

- Tectonics 6(3): 233-248.
- Pascual, R. 1949. Observaciones geológicas en la Alta Cordillera de Mendoza, Departamento Tunuyán, entre Mesón de San Juan y río Palomares del W. del Alto Tunuyán. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales, Tesis Doctoral N°150 (inédita), La Plata.
- Ramos, V.A. 2000. Evolución tectónica de la Argentina. En R. Caminos (ed.) Geología Argentina, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29(24): 715-784, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 2009. Anatomy and global context of the Andes: Main geologic features and the Andean orogenic cycle. En Kay, S.M., Ramos, V.A. y Dickinson, W. (eds.) Backbone of the Americas: Shallow Subduction, Plateau Uplift, and Ridge and Terrane Collision, Geological Society of América, Memoir 204: 31-65.
- Ramos, V.A. 2010. The tectonic regime along the Andes: Present settings as a key for the Mesozoic regimes. Geological Journal 45: 2-25.
- Ramos, V.A., Kay, S.M., Cingolani, C. y Kawashita, K. 1985. The volcanic rocks of Cerro Aconcagua, Cordillera Principal (32°S). Comunicaciones 35: 191-194.
- Ramos, V.A., Aguirre Urreta, M.B., Alvarez, P.P., Cegarra, M., Cristallini, E.O., Kay, S.M., Lo Forte, G.L., Pereyra, F. y Pérez, D. 1996. Geología de la Región del Aconcagua, Provincias de San Juan y Mendoza. Dirección Nacional del Servicio Geológico, Anales 24, 510 p., Buenos Aires.
- Rojas Vera, E.A., Mescua, J., Folguera, A., Becker, T. P., Sagripanti, L., Fenell, L., Orts, D. y Ramos, V.A. 2015. Evolution of the Chos Malal and Agrio fold and thrust belts, Andes of Neuquén: insights from structural analysis and apatite fission track dating. Journal of South American Earth Sciences 64(2): 418-433.
- Roll, A. 1939. La cuenca de los estratos con dinosaurios al sur del río Neuquén. Gerencia de Exploración YPF, Informe inédito.
- Roth, S. 1908. Beitrag zur Gliederung del sedimentablagerungen der Patagonien und der Pampas region. Neues Jahrbuch fur Mineralogie und Paleontologie 26: 92-150.
- Sandeman, H.A., Clark, A.H. y Farrar, E. 1995. An integrated tectono-magmatic model for the evolution of the Southern Peruvian Andes (13°-20°S) since 55 Ma. International Geology Review 37, 1039-1073.
- Schiller, W. 1912. La Alta Cordillera de San Juan y Mendoza y parte de la provincia de San Juan. Anales del Ministerio de Agricultura, Sección Geología, Mineralogía y Minería, 7 (5): 1 68, Buenos Aires.
- Steinmann, G. 1929. Geologie von Perú. Carl Winters Universitätsbuchhandlung, Heidelberg, 448 p.
- Stille, H. 1924. Grundfragen der Vergleichenden Tektonik. Gebruder Borntraeger, Berlin, 468 p.
- Stipanovic, P.N. 1969a. Semblanzas del Profesor Doctor Pablo F.C. Groeber. Revista de la Asociación Geológica Argentina 24: 334-348.
- Stipanovic, P.N. 1969b. El avance en los conocimientos del Jurásico argentino a partir del esquema de Groeber. Revista de la Asociación Geológica Argentina 24: 367-388.
- Stipanovic, P.N., Rodrigo, F. Baulies O.L. y Martínez C.G.. 1968. Las formaciones presenonianas en el denominado Macizo Nordpatagónico y regiones adyacentes. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 23(2): 67-98.
- Suero, T. 1951. Descripción de la Hoja Geológica 36c, Cerro Lotena (Neuquén). Boletín de la Dirección Nacional de Minería 76, 1-67, Buenos Aires.
- Tunik, M., Folguera, A., Naipauer, M., Pimentel, M. y Ramos, V.A. 2010. Early uplift and orogenic deformation in the Neuquén Basin: constraints on the Andean uplift from U-Pb and Hf isotopic data of detrital zircons. Tectonophysics 489: 258-273.
- Uliana, M.A. y Biddle, K.T. 1988. Mesozoic-Cenozoic paleogeographic and geodynamic evolution of southern South America. Revista Brasileira de Geociências 18: 172-190.
- 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 60(1): 221-250.
- Weaver, C.E. 1931. Paleontology of the Jurassic and Cretaceous of West Central Argentina. Memoirs of the University of Washington 1, 469 p.
- Yrigoyen, M.R. 1976. Observaciones geológicas alrededor del Aconcagua. 1 Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 168-190.

Recibido: 27 de setiembre, 2016

Aceptado: 14 de diciembre, 2016