

Evolución geomorfológica cenozoica de la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa en el norte de Chile (19° S)

Francisco González^{1,2*}, Germán Aguilar^{1,2}, Marcelo García^{1,2}

1. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Av. Plaza Ercilla 803, Santiago, Chile.
2. Advanced Mining Technology Center, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Av. Tupper 2007, Santiago, Chile.

* email: francisco.gonzalez.villanueva@gmail.com

Resumen. En la Cordillera de la Costa del norte de Chile, tasas de erosión extremadamente bajas han preservado superficies de bajo relieve desde, al menos, el Mioceno. A partir de los datos morfométricos de las superficies preservadas y del contacto entre basamento y cobertura en la Depresión Central, se estudió la evolución de la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa. Los resultados sugieren que la preservación de las superficies de la Cordillera de la Costa durante el Neógeno, no solo estaría asociada a las condiciones climáticas hiper-áridas imperantes, si no, que además estaría ligada a los cambios en el nivel base de la cuenca de antearco, controlados por la agradación de sedimentos en la Depresión Central.

Palabras claves: Erosión, pedimentos, norte de Chile.

1 Introducción

El paisaje de la Cordillera de la Costa del norte de Chile, está compuesto por relictos de superficies erosivas de bajo relieve labradas sobre unidades mesozoicas y que se habrían formado durante el Oligoceno-Mioceno. Estas superficies se han preservado debido a tasas de erosión extremadamente bajas (Dunai et al., 2005; Kober et al., 2007).

Hacia el este de la Cordillera de la Costa se extiende la Depresión Central, la cual corresponde a una cuenca de antearco rellena por secuencias del Oligoceno-Holoceno que se disponen subhorizontalmente y acuan hacia el oeste, solapando el borde oriental de la Cordillera de la Costa (García et al., 2004, 2011).

La relación geomorfológica entre la Cordillera de la Costa y la Depresión Central, así como la evolución del límite entre estas dos unidades fisiográficas no se conoce. En este trabajo se estudia la evolución geomorfológica de la conjunción de estas unidades fisiográficas, con datos obtenidos desde la superficie en la Cordillera de la Costa y desde la base de la cobertura oligocena-holocena en la Depresión Central, en el área cercana a las quebradas de Camarones y Chiza (19° S).

2 Marco geomorfológico y geológico

Las bajas precipitaciones en el norte de Chile imponen un régimen de aridez extrema, lo que ha favorecido tasas de erosión muy bajas; algunos autores han estimado tasas a largo plazo (Neógeno) del orden de ~0,1 m/M.a. (Dunai et al., 2005) y <1 m/M.a. en la Cordillera de la Costa (Kober et al., 2007). Dunai et al. (2005) a partir de edades de exposición ²¹He de clastos sobre peniplanicies sugiere que la hiper-aridez está presente en la Cordillera de la Costa desde hace 25 Ma. Estas condiciones han ayudado a que se preserven diversas geoformas en la Cordillera de la Costa, como son: superficies de bajo relieve, escarpes de fallas, acantilado costero y valles incisos (Fig. 1).

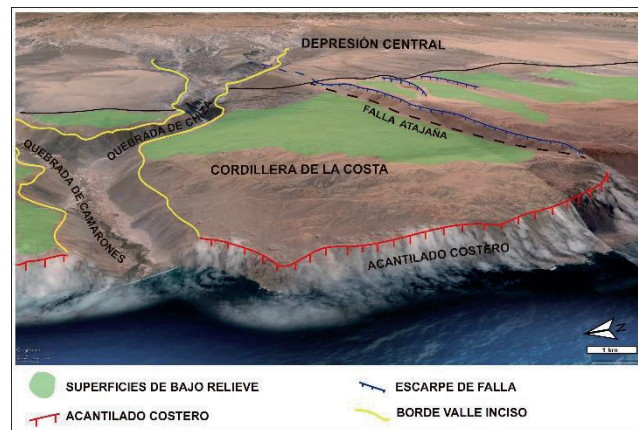


Figura 1. Vista aérea de la zona de estudio en la Cordillera de la Costa del norte de Chile, se muestran las geoformas preservadas.

Las superficies erosivas de bajo relieve datan de, al menos, el Mioceno, siendo así contemporáneas con sucesiones del relleno de la Depresión Central. Este relleno está compuesto por sucesiones de edad Oligoceno-Mioceno que sobreyacen en discordancia angular a rocas mesozoicas (García et al., 2004, 2011).

La secuencia estratigráfica del Oligoceno-Mioceno está formada por rocas continentales agrupadas en las formaciones Azapa (~500 m; Oligoceno-Mioceno bajo), Oxaya (~1.000 m; Oligoceno Superior-Mioceno Inferior) y El Diablo (~300 m; Mioceno Inferior-Medio) (Salas et al., 1966; García et al., 2004; García & Fuentes, 2012). Hacia el

oeste de la Depresión Central, los estratos de estas formaciones progradan a las unidades mesozoicas de la Cordillera de la Costa.

La Fm. Azapa está constituida por conglomerados y areniscas principalmente fluviales y subyace concordante y transicionalmente a la Fm. Oxaya. La Fm. Oxaya es una secuencia volcánica ignimbrítica y sedimentaria que se depositó en un ambiente de planicies fluviales y aluviales. La Fm. El Diablo corresponde a una secuencia sedimentaria predominantemente clástica que sobreyace en discordancia por erosión a la Fm. Oxaya. Características sedimentarias de estas formaciones, indican una proveniencia del aporte de sedimentos desde el este (García et al., 2004).

Sobre la cuenca de antearco se depositan además flujos aluviales locales producto de la erosión de la Cordillera de la Costa, los cuales rellenan paleo-depresiones irregulares labradas sobre el basamento mesozoico y también interdigitan los depósitos cenozoicos que rellenan la cuenca (García & Fuentes, 2012).

Grandes valles incisos asociados a sistemas de drenaje exorreicos y alimentados por precipitaciones de la Alta Cordillera cortan transversalmente toda la región del antearco. En estos cañones es posible observar el contacto entre el basamento mesozoico y las sucesiones que rellenan la Depresión Central.

Una estructura geológica relevante del área, es la Falla Atajaña (19,2° S), que forma un escarpe de falla de orientación E-W, con desniveles de hasta 480 m de altura, desplazando rocas mesozoicas sobre la cobertura oligo-neógena (Allmendinger & González, 2010; García & Fuentes, 2012). Su traza se extiende desde el escarpe costero hasta el borde occidental de la Depresión Central. Al sur de esta falla, ocurren dos estructuras que actúan de forma similar, estas son las fallas Lomajes y Blanco (García & Fuentes, 2012) (Fig. 2).

3 Metodología

A partir del análisis de los modelos de elevación digital (DEM), es posible identificar, discriminar y caracterizar la morfometría de las superficies preservadas de bajo relieve de la Cordillera de la Costa. Con los datos aportados por este análisis, junto a los contactos entre basamento y cobertura observado en los valles incisos, se modelaron superficies que fueron extrapoladas por debajo del relleno de la Depresión Central.

Una etapa importante en la identificación y reconstrucción de la paleotopografía, fue la restitución del desplazamiento generado por las fallas de orientación E-W y activadas en el Neógeno. Se dividieron las superficies relictas que exponen rocas mesozoicas y que han sufrido deformación en distintos polígonos, para los cuales se estimó la magnitud desplazada respecto a las superficies preservadas no desplazadas inmediatamente al norte. Los valores de restitución vertical calculados van desde 80 m a 480 m,

asociados a las fallas Blanco y Atajaña respectivamente (Fig. 2).

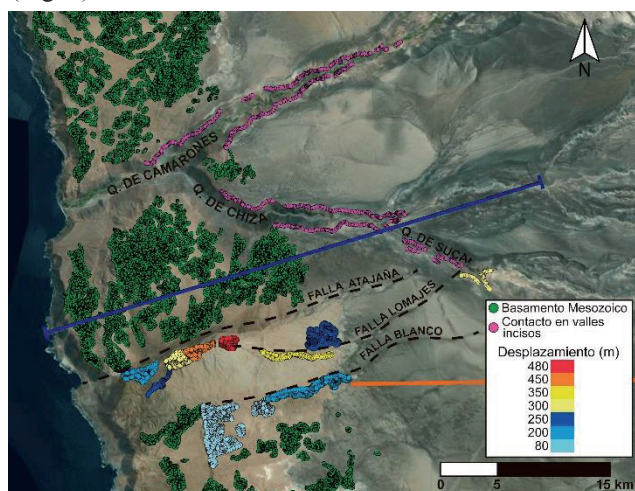


Figura 2. Mapa que muestra la ubicación de las fallas y las superficies que desplazan; los puntos en verde representa los datos del basamento mesozoico en la Cordillera de la Costa y los puntos en rosado el contacto en los valles incisos. La línea azul corresponde a la traza de la sección transversal (Fig. 3) y la línea naranja la ubicación del perfil sísmico y pozo en la Pampa de Tana.

4 Resultados

Se generaron dos modelos de superficies que se extienden hacia el este por debajo del relleno de la Depresión Central. Un modelo solo considera los datos de las superficies de bajo relieve que cortan el basamento expuesto en la Cordillera de la Costa, y el otro suma además los datos del contacto entre basamento y cobertura en los valles incisos.

Para visualizar los resultados, se realizó una sección transversal de orientación SW-NE al norte de la Falla Atajaña, la cual corta la quebrada de Suca (Fig. 2).

En la Figura 3 se muestra el perfil de la sección, donde se confronta a ambas superficies modeladas versus la topografía. Se observa que la superficie generada solo a partir de datos en la Cordillera de la Costa (en verde) tiene una tendencia uniforme de caída hacia el este con un ángulo de $\sim 1^\circ$. La superficie que además incorpora los datos de contactos en los valles incisos (en rojo) se presenta más compleja: desde el borde occidental de la Depresión Central, se observa un desnivel de ~ 600 m en una longitud de 5 km en la horizontal ($\sim 7^\circ$ de pendiente), llegando hasta el fondo de la quebrada de Suca. A partir de este punto la superficie comienza a disponerse horizontalmente por ~ 9 km, para luego volver a caer hacia el este uniformemente con un ángulo de $\sim 2^\circ$. La diferencia de profundidad entre ambas superficies va desde 250 m al este de la quebrada de Suca hasta los 470 m en la parte más oriental de la sección.

5 Discusión

Usando un pozo de sondaje y la interpretación de un perfil sísmico ubicados en la Pampa de Tana, al sur de la Falla

Atajaña (Fig. 2), se comparó ambas superficies con la estratigrafía del relleno de la Depresión Central. Mediante lo anterior, fue posible asociar ambas superficies modeladas a contactos entre unidades litológicas.

5.1 Retroceso del borde oriental de la Cordillera de la Costa durante el Oligoceno

La superficie en rojo de la Figura 3 se asoció a una superficie modelada sobre el basamento mesozoico y que evolucionó durante la depositación de las formaciones Azapa y Oxaya. Es posible asociar los cambios morfométricos de esta superficie a diferentes geoformas generadas por procesos erosivos.

Desde este a oeste, el primer cambio de pendiente se asocia a un proceso de pedimentación y aplanamiento del relieve de la Cordillera de la Costa ante el aumento de altitud del nivel de base de la cuenca por la acumulación de los depósitos de la Fm. Azapa en la Depresión Central (Fig. 4ab). Esta superficie erosiva se correlaciona hacia el este con un contacto estratigráfico en los depósitos de la Fm. Azapa.

Este primer cambio de pendiente de la superficie se encuentra a más de 15 km en relación a su posición actual y representaría la posición del límite entre la Cordillera de la Costa y la Depresión Central previo o durante el comienzo de la depositación de la Fm. Azapa (~33 Ma). El retroceso del borde oriental de la Cordillera de la Costa, habría sido acompañado por erosión vertical sobre esta, formando depósitos aluviales locales en la parte alta, la que definitivamente habría finalizado con la formación de las superficies de bajo relieve de la Cordillera de la Costa.

El segundo cambio de pendiente se interpretó como un salto topográfico de 600 m generado a partir de la evolución y retroceso del borde oriental original. Contra este frente se depositaron las rocas de la Fm. Oxaya (Fig. 4c), que sobreyace concordante y transicionalmente a la Fm. Azapa.

Considerando la edad de las Formaciones Azapa y Oxaya y la posición de ellas con respecto a la evolución de la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa, este habría retrocedido a tasas de ~700 m/Ma entre los 33 y 20 Ma. Estos resultados son concordantes con tasas que van de 300-3000 m/Ma y que han sido expuestas en diversos trabajos para condiciones áridas y semi-áridas (e.g. Saunders & Young, 1983; Dohrenwend & Parsons, 2009).

5.2 Preservación de superficies de la Cordillera de la Costa durante el Neógeno

La superficie en verde de la Figura 3 se asoció al contacto erosivo entre las formaciones Oxaya y El Diablo. Esta correlación sugiere que a partir de la depositación de la Fm. El Diablo (~20 Ma) el paleorelieve de la Cordillera de la Costa se habría preservado debido a las bajas tasas de erosión.

Hacia el oeste de la Depresión Central, los estratos de la Fm. El Diablo se acuan y progradan a las unidades mesozoicas de la Cordillera de la Costa. Esta superficie envolvente,

compuesta por superficies de bajo relieve de la Cordillera de la Costa y por el contacto entre las Formaciones Oxaya y El Diablo, representaría una superficie erosiva generada por un proceso de pedimentación que denudó parte del borde oriental de la Cordillera de la Costa. Este evento sería el responsable de finalizar la migración del límite occidental de la Depresión Central a la posición actual a tasas muy bajas (Fig. 4d).

6 Conclusiones

La evolución de la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa responde a una disminución en las tasas de erosión y cambios en los procesos geomorfológicos dominantes. Estas variaciones se explican por la agradación de sedimentos en la Depresión Central provenientes de la Precordillera y Cordillera Occidental. La agradación habría controlado los cambios en el nivel base de la cuenca, limitando la erosión a medida que esta se colmata. La preservación de las superficies de la Cordillera de la Costa durante el Neógeno, no solo estaría ligada a la aridización del clima, si no, que además estaría asociada a la colmatación de la Depresión Central.

Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado con fondos del *International Joint Laboratory of Geosciences* COPEDIM, red iniciada por el Institut de Recherche pour le Développement (IRD-Francia).

Bibliografía

- Allmendinger, R.W.; González, G.; 2010. Invited review paper: Neogene to Quaternary tectonics of the coastal Cordillera, northern Chile. *Tectonophysics*, 495, 93-110.
- Dohrenwend J.; Parsons A.; 2009. Pediments in Arid Environments. *Geomorphology of Desert Environments*, 2nd ed., 377-411.
- Dunai, T.J.; González, G.; Juez-Larré, J.; 2005. Oligocene-Miocene age of aridity in the Atacama Desert revealed by exposure dating of erosion-sensitive landforms. *Geology*, v. 33, N° 4, p. 321-324.
- García, M.; Fuentes, G.; 2012. Carta Cuya, Regiones de Arica y Parinacota y de Tarapacá. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 146, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- García, M.; Gardeweg, M.; Clavero, J.; Hérail, G.; 2004. Hoja Arica, Región de Tarapacá. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, N° 84, 1 mapa escala 1:250.000. Santiago, Chile.
- García, M.; Riquelme, R.; Fariás, M.; Hérail, G.; Charrier, R.; 2011. Late Miocene-Holocene canyon incision in the western Altiplano, northern Chile: tectonic or climatic forcing?. *Journal of the Geological Society (London)*. V. 168, p. 1047-1060.
- Kober, F., Ivy-Ochs, S., Schlunegger, F., Baur, H., Kubik, P. W., and Wieler, R. (2007) Denudation rates and topography-driven rainfall threshold in northern Chile: Multiple cosmogenic nuclide data and sediment yield budgets. *Geomorphology*, 83, 97-120.

Salas, R.; Kast, R.; Montecinos, F.; Salas, I.; 1966. Geología y recursos minerales del Departamento de Arica, Provincia de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín 21, 130 p.

Saunders I., Young A., 1983. Rates of surfaces processes on slopes, slope retreat and denudation. Earth surfaces processes and landforms, Vol. 8, 473-501 (1983).

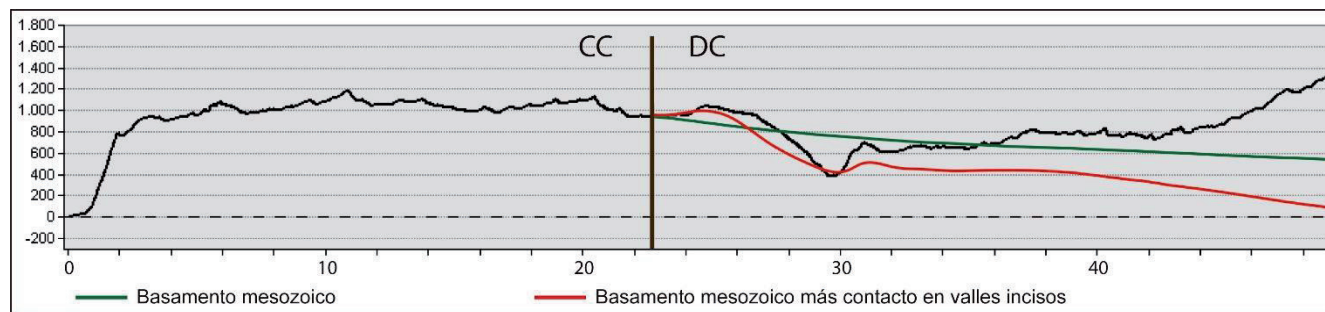


Figura 3. Sección Suca con orientación SW-NE, la línea negra representa la topografía.

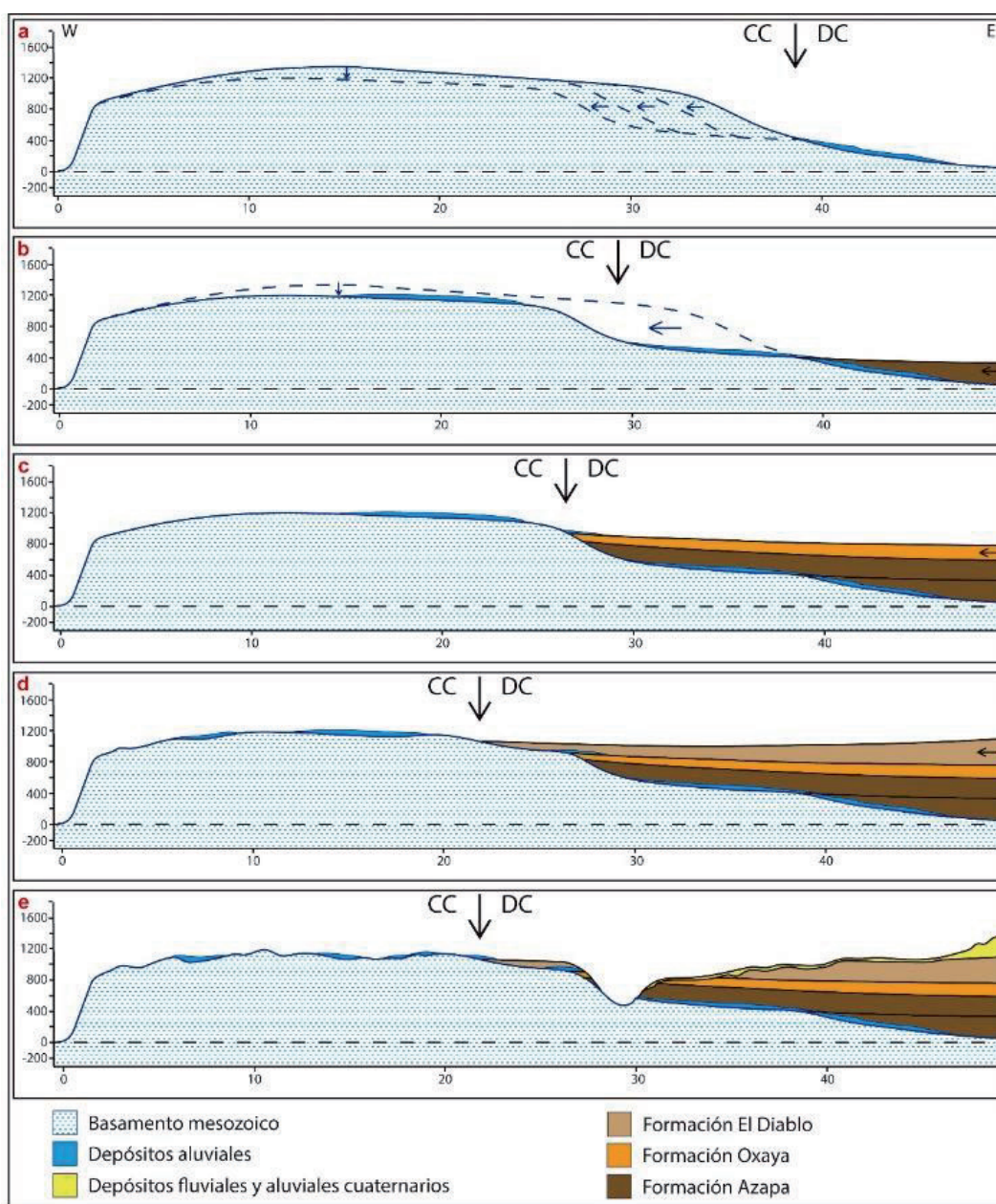


Figura 4. Esquema de la evolución geomorfológica de la parte oriental de la Cordillera de la Costa desde el Oligoceno a la actualidad.