



ESEG-3: Arquitectura cortical del margen andino combinando datos estructurales y modelos geofísicos

Geometría y densidades del basamento de la cuenca de Santiago: Implicancias para la evolución del Antearco Andino de Chile Central y su respuesta durante grandes terremotos.

Felipe González^{1,4}, Andrei Maksymowicz^{1,2}, Daniel Díaz^{1,2,3}, Maximiliano Leiva^{1,4}, Emilio Vera^{1,2}, Sergio Contreras-González^{1,4}, Daniel Cabrera^{1,4}.

(1) Núcleo de Geofísica Aplicada del Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile

(2) Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile

(3) Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes, Chile

(4) Programa de Riesgo Sísmico, Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile

Resumen Desde el siglo pasado se han desarrollado múltiples estudios geológicos y geofísicos en la cuenca de Santiago para comprender su morfología y evolución tectónica. Sin embargo, algunas incertidumbres respecto a las propiedades del relleno sedimentario y posibles anomalías de densidad bajo el contacto sedimentos/basamento aún permanecen vigentes. Considerando que esta es un área densamente poblada con casi de 7 millones de habitantes, en un ambiente tectónico activo, es importante estudiar las propiedades físicas de la cuenca de Santiago, su evolución geológica y estructural, y su potencial relevancia para la evaluación del riesgo sísmico en la zona. Se han construido modelos gravimétricos 2D y 3D, sobre una base de datos de 797 estaciones gravimétricas recopiladas y 883 nuevas estaciones gravimétricas adquiridas. Para generar un modelo de elevación de basamento bien constreñido, se utilizó una revisión de 499 pozos y 30 sondajes de Transiente Electromagnético (TEM), los que contribuyen con información independiente sobre la profundidad al basamento o espesor sedimentario mínimo. Para el modelado 2D se analizaron 49 perfiles gravimétricos, considerando un contraste de densidad homogéneo y tendencias regionales independientes. Una fuerte anomalía gravimétrica positiva fue observada en el centro de la cuenca, lo que complejiza el proceso de modelado y hace necesario considerar numerosos controles independientes. Los modelos de elevación de basamento resultantes muestran una geometría de basamento compleja con, a lo menos, ocho depocentros reconocibles, con un máximo de ~600 [m] de relleno sedimentario. Los modelos de densidad 3D muestran lineamientos que se correlacionan bien con importantes cadenas de intrusivos del Cenozoico y el Mesozoico, lo que, junto con las zonas de fallas interpretadas en el Oeste y Este de la cuenca, sugieren un control estructural de la geometría de la cuenca de Santiago. Los resultados muestran que la deformación reciente asociada con el frente Andino y las antiguas estructuras desarrolladas durante la extensión Cenozoica se sobre imponen a la variabilidad de los procesos de erosión/depositación de los ríos. Introducción La cuenca de Santiago se localiza en el margen chileno, alrededor de los 33.5°S, y corresponde al extremo Norte de la Depresión Central, limitada al Este por la Cordillera de los Andes y al Oeste por la Cordillera de la Costa. La cuenca de Santiago ha sido parcialmente rellenada por sedimentos fluviales, glaciofluviales y depósitos volcánicos, cuya proveniencia se asocia a los cañones de los ríos Maipo y Mapocho [1]. Entre el relleno sedimentario asoman cerros islas entre los que se distinguen el Santa Lucía, San Cristóbal, Blanco, Calán, Lo Aguirre, Renca, entre otros. Aproximadamente, desde el año 1950 se han desarrollado múltiples estudios geológicos y geofísicos en la cuenca de Santiago para entender su morfología y evolución tectónica. Entre estos estudios, Kausel (1959) [2] estimó un espesor sedimentario de aproximadamente 400 [m] alrededor de la ciudad de Santiago, basado en estudios gravimétricos, y Dragicevic (1982) [3] realizó mediciones gravimétricas concluyendo que la profundidad al basamento en el área de la Rinconada de Lo Aguirre es similar a la del centro de la cuenca. Estudios recientes presentan modelos más completos de la geometría del basamento por modelado gravimétrico [4, 5, 6]; sin embargo, las implicancias de la estructura de densidad del basamento subyacente, y la incertidumbre asociada a las estimaciones de densidad/espesor del relleno sedimentario, no han sido estudiadas en detalle. Para obtener una interpretación coherente con la geología y los procesos tectónicos, este estudio presenta nuevos modelos gravimétricos 2D y 3D de la cuenca de Santiago, controlados con datos de Transiente Electromagnético (TEM) y numerosos datos de sondajes y pozos. El objetivo principal de esta investigación fue estudiar la morfología e inhomogeneidades del basamento de la cuenca de Santiago, y sus implicancias para el riesgo sísmico y la evolución a largo plazo del antearco de los Andes Centrales. Con dicha finalidad, 49 perfiles de gravedad fueron modelados en 2D e interpretados y se obtuvieron además 2 modelos 3D de gravedad en el centro de la cuenca y en la cuenca completa, basados en datos de alta y baja resolución, respectivamente. Datos y procesamiento Gravedad La base de datos gravimétricos incluye 1680 estaciones gravimétricas. Cerca de 883 de ellas son nuevos datos gravimétricos adquiridos en diferentes áreas de la cuenca de Santiago durante el año 2015. Las otras estaciones corresponden a una recopilación de múltiples campañas desarrolladas por la Universidad de Chile: 233 estaciones gravimétricas del Proyecto Anillo (ACT N°18) entre 2007 y 2010, 183 estaciones del Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes (CEGA) durante 2012, 227 estaciones medidas en 1959 por Edgar Kausel [2], y 54 estaciones gravimétricas de numerosas campañas cortas realizadas por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile (DGF). La adquisición de nuevos datos fue financiada por el Programa de Riesgo Sísmico de la Universidad de Chile (PRS), usando un gravímetro Scintrex CG-3 (*Geosciences Environnement Toulouse*). La



ESEG-3: Arquitectura cortical del margen andino combinando datos estructurales y modelos geofísicos

campana gravimétrica se llevó a cabo entre 7 de enero y 21 de agosto de 2015, donde se adquirieron 19 perfiles y 2 mallas de estaciones gravimétricas. El espaciamiento entre estaciones es de 500 [m] y 1000 [m] para perfiles y mallas, respectivamente. Los datos de elevación fueron adquiridos con un sistema DGPS Topcon HiperV y la base gravimétrica considerada corresponde al punto de gravedad absoluta ubicado en el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. Dada las fuentes variables de las estaciones gravimétricas, fue necesario revisar y validar las referencias gravimétricas y topográficas de las distintas campañas para construir una base de datos coherentemente combinada. Con este fin, se llevó a cabo un proceso de nivelación para llevar todos los datos gravimétricos al mismo nivel de referencia. Adicionalmente, se realizaron nuevas mediciones gravimétricas y de DGPS en las mismas posiciones de varias de las estaciones adquiridas anteriormente, para verificar sus elevaciones y trasladar estas bases de datos a las nuevas referencias gravimétricas y topográficas. Los datos gravimétricos fueron procesados para obtener la anomalía de Bouguer completa, aplicando las correcciones estándar: deriva instrumental lineal temporal, corrección de mareas terrestres, corrección de gravedad normal teórica del elipsoide WGS-84, las correcciones de aire libre y Bouguer basadas en la altura elipsooidal DGPS y una densidad de referencia de 2.67 [gr/cc], y la corrección topográfica con la elevación digital ASTER GDEM de 30 [m] x 30 [m] de resolución. Las correcciones de aire libre, Bouguer y topográfica fueron calculadas usando el software Geosoft-Oasis Montaj. Los 49 perfiles gravimétricos fueron modelados usando el software Encom-ModelVision para obtener modelos gravimétricos 2D, y los modelos de densidad 3D se obtuvieron utilizando el programa UBC-GIF GRAV3D v3.0. Restricciones al modelo gravimétrico Para restringir al menos el espesor sedimentario mínimo se utilizaron un total de 30 estaciones de datos TEM y 499 datos de sondajes [1, 7]. Las estaciones TEM se distribuyeron en el área de estudio de acuerdo con la disponibilidad espacial de áreas despejadas. La adquisición se hizo con un equipo WalkTEM, usando una configuración de *loop* central, con transmisión de poder en *loops* cuadrados de 40 [m] x 40 [m] o 100 [m] x 100 [m]. Los modelos de resistividad-profundidad se obtuvieron por inversión de los datos observados utilizando el software IX1Dv3 de Interpex, el cual emplea un algoritmo de mínimos cuadrados. Análisis de resultados y conclusiones Los resultados muestran que la morfología del basamento en la cuenca de Santiago es claramente heterogénea y se observan diferentes estructuras que pueden relacionarse a la evolución tectónica de la zona de estudio. El análisis de los datos gravimétricos muestra que no se puede presentar un modelo confiable del relleno sedimentario, si la estimación no considera las heterogeneidades que caracterizan al basamento de la cuenca. La solución presentada aquí es una buena estimación de la morfología del basamento, considerando los datos disponibles y, de acuerdo con las constricciones confiables, un límite inferior para la profundidad del basamento. La presencia de fuertes anomalías positivas en el centro de la cuenca y la falta de constricciones para la profundidad del basamento en esta área determina incertidumbres que deben ser resueltas en futuros estudios. Sin embargo, los modelos obtenidos de elevación de basamento resaltan la importancia de los procesos erosivos durante la formación de la cuenca y, además, proveen evidencia del control estructural durante su desarrollo. Entre otras características destacan: (1) una leve profundización hacia el Este del techo del basamento observado en el área nor-central, (2) la observación de zonas donde el basamento se encuentra ligeramente bajo el nivel del mar, (3) la presencia de lineamientos en el relieve del basamento que se correlacionan con zonas de falla en el centro y al Este de la cuenca, y (4) lineamientos de alta densidad observados en el basamento como continuación de cadenas de intrusivos observadas en superficie. En base a las intensidades observadas para los terremotos de Valparaíso 1985 y Maule 2010 en Santiago, se observa una correlación entre áreas de mayor daño y la localización de depocentros importantes en la porción Norte y sur-central de la cuenca, pero los resultados no son extensivos a todos los depocentros y se requieren más datos y estudios para comprender el rol de la geometría de la cuenca en la amplificación sísmica observada en el área. Sin embargo, los resultados muestran la importancia de la caracterización geofísica detallada de esta y otras cuencas del territorio nacional para mejorar las estimaciones del riesgo sísmico y geológico, así como para una correcta planificación de desarrollo territorial. Referencias [1] Falcón, E., Castillo, O., & Valenzuela, M. (1970). Hidrogeología de la cuenca de Santiago. Contribución de Chile al Decenio Hidrológico Internacional. Instituto de Investigaciones Geológicas, 51 p. [2] Kausel, E. (1959) Levantamiento gravimétrico de la cuenca de Santiago. Memoria de título profesional, Universidad de Chile, Santiago, Chile. [3] Dragicevic, M. (1982). Nota sobre medidas de gravedad en el sector oeste de la cuenca de Santiago. Rev. Tralka, 2, 207–221. [4] Araneda, M., Avendaño, M., & Merlo, C. (2000). Modelo gravimétrico de la cuenca de Santiago, etapa III final. En: Congreso Geológico Chileno, No. 9, Actas 2: 404–408. [5] Yáñez, G., Muñoz, M., Flores-Aqueveque, V., & Bosch, A. (2015). Gravity derived depth to basement in Santiago Basin, Chile: implications for its geological evolution, hydrogeology, low enthalpy geothermal, soil characterization and geo-hazards. Andean Geology, 42(2), 147–172. [6] González, F., Maksymowicz, A., Díaz, D., Villegas, L., Leiva, M., Blanco, B., Vera, E., Contreras, S., Cabrera, D., & Bonvalot, S. (2018). Characterization of the depocenters and the basement structure, below the central Chile Andean Forearc: a 3D geophysical modelling in Santiago Basin area. Basin Research, DOI: 10.1111/bre.12281. [7] Karzulovic, J. (1957) Sedimentos cuaternarios y aguas subterráneas en la cuenca de Santiago. Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 14–55, 5–120. [8] Thiele, R. (1980). Carta Geológica de Chile, n° 39, Hoja Santiago, Región Metropolitana, Santiago. Instituto de Investigaciones Geológicas, 51 p.



ESEG-3: Arquitectura cortical del margen andino combinando datos estructurales y modelos geofísicos

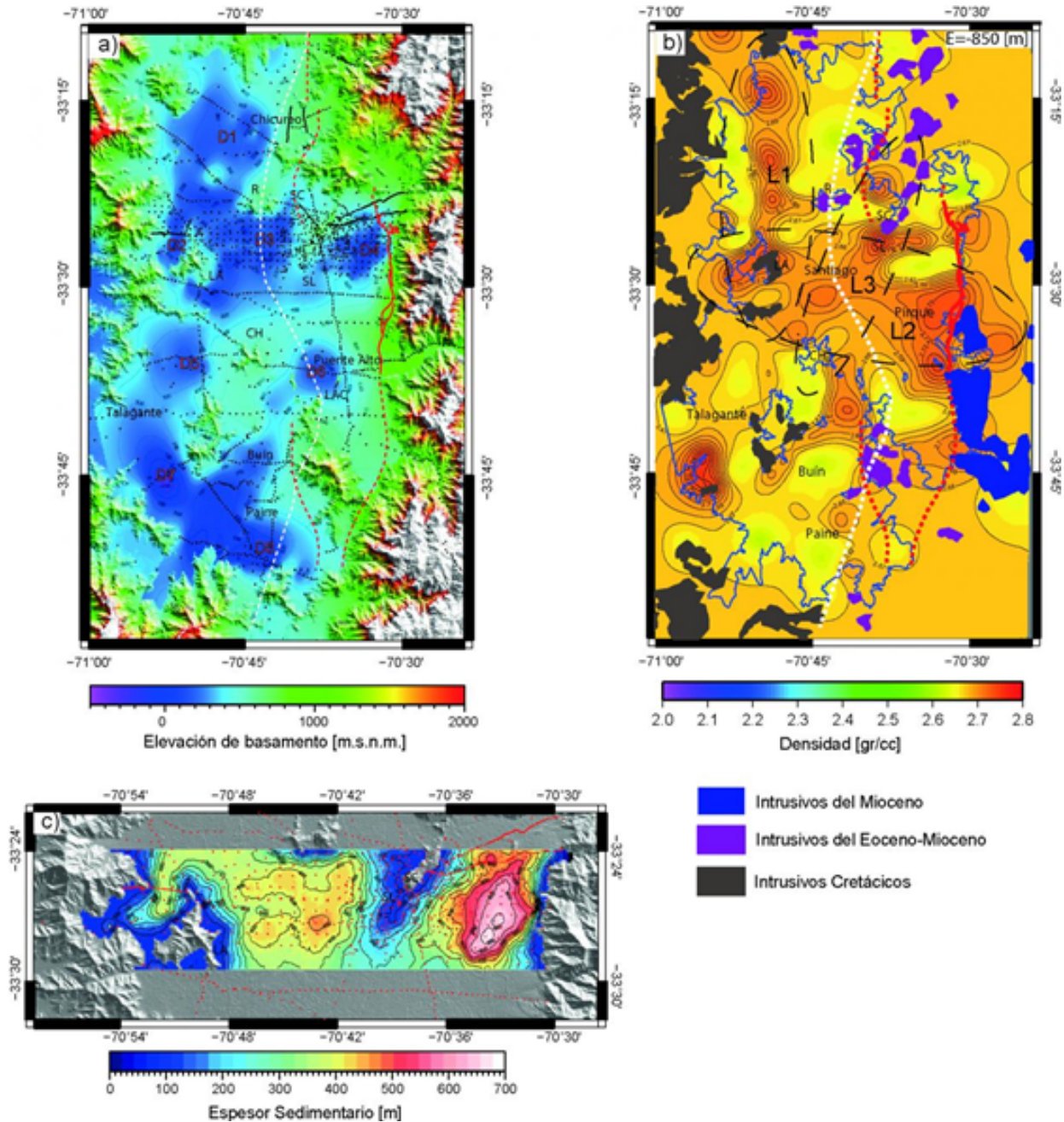


Figura 1. a) Elevación de basamento obtenida de los modelos de gravedad 2D. Las estaciones gravimétricas se muestran como puntos negros. b) Sección de densidad obtenida del modelo 3D de la cuenca a -850 [m.s.n.m.]. L1 L2 y L3 indican los lineamientos observados; L1 y L2 son asociados al Cordón de Chacabuco y al Cordón San Cristóbal-Santa Lucía, respectivamente. c) Espesor de relleno sedimentario obtenido del modelo gravimétrico 3D en la zona de mayor densidad de estaciones gravimétricas. Las estaciones utilizadas se muestran como puntos rojos. Para los paneles a) y b), en la línea roja la traza de la FSR observada en superficie y en línea roja segmentada la traza inferida del frente de deformación Andina al Norte y al Sur, y en línea blanca segmentada el límite aproximado entre las unidades cretácicas y cenozoicas en el basamento [8]. A: Co. Amapola, CH: Co. Chena, LA: Co. Lo Aguirre, LAC: Co. Las Cabras, R: Co. Renca, SC: Co. San Cristóbal, SL: Co. Santa Lucía.